Pausevarsler

Prosjektoppgave i ING1507

Kandidatnr. 772709

Kandidatnr. 772738

1. Introduksjon

1.1. Prosjektbeskrivelse

Ved å bruke ATmega32-mikrokontrollere og en rekke komponenter, skulle vi ut ifra de ulike konseptene vi har lært gjennom kurset *ING1507 Datamaskinarkitektur* lage en modul/system som passer i et smarthjem.

Innhold

2. Prosjektidé

2.1. Utfordring

På skolen har vi pause fra undervisningen med omtrent 45 minutters intervaller, dette er det en fastsatt plan på når pausene skal komme. Det er kadett kommandør (KK) som har dette ansvaret, jobben er å følge med på klokken og varsle foredragsholder 5 minutter før en pause starter. Utfordringen for KK er at hen glemmer å følge med på klokken da dette vil ta over for fokuset på det instruktøren sier. Dette resulterer i at pausene ikke kommer når de skal, som da igjen gjør at kadettene sliter med å fokusere når de ikke får avbrekk.

2.2. Løsning

Løsningen vi har kommet opp med er å lage et produkt som varsler KK samt foredragsholderen når disse pausene skal komme, og hvor lenge det er til.

2.2.1. Virkemåte

Det er et system bestående av en KK-modul og en lærer-modul. Disse kommuniserer med hverandre over blåtann.

2.2.1.1. KK-modul

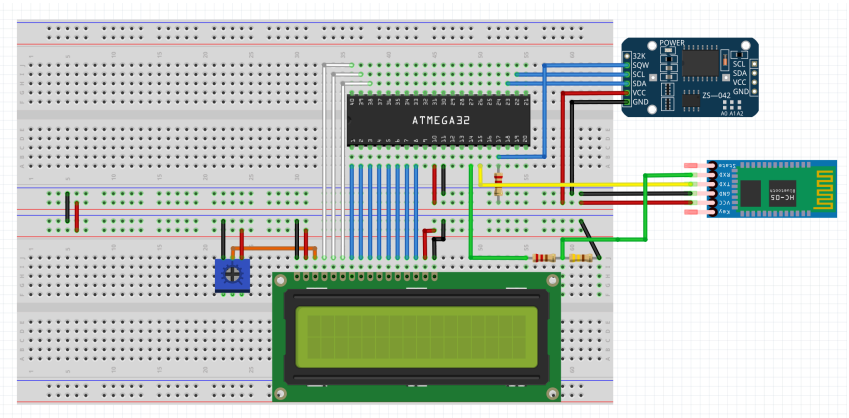
Dette er masteren. Den har en Real Time Clock, som er programmert med en alarm som sender et signal ved skolestart. Mikrokontrolleren har ekstern interrupt på dette signalet og vekkes ved dette signalet. Da går den over i å lese av klokken med et intervall på 1 sekund ved hjelp av Compare Match på Timer1 på ATmega32. Når timen starter sender den lengden på timen over blåtann til lærer-modulen. Når pausen starter, sender den lengden på pausen til lærer-modulen. Når skoledagen er over, sender den stop-kommando til lærer-modulen. All konfiurering av skolestart, pauser og skoleslutt konfigureres altså på KK-modulen. KK-modulen har også en LCD-skjerm som viser gjenværende minutter og sekunder av pausen når det er pause, og gjenværende tid av timen når det er time.

2.2.1.2. Lærer-modul

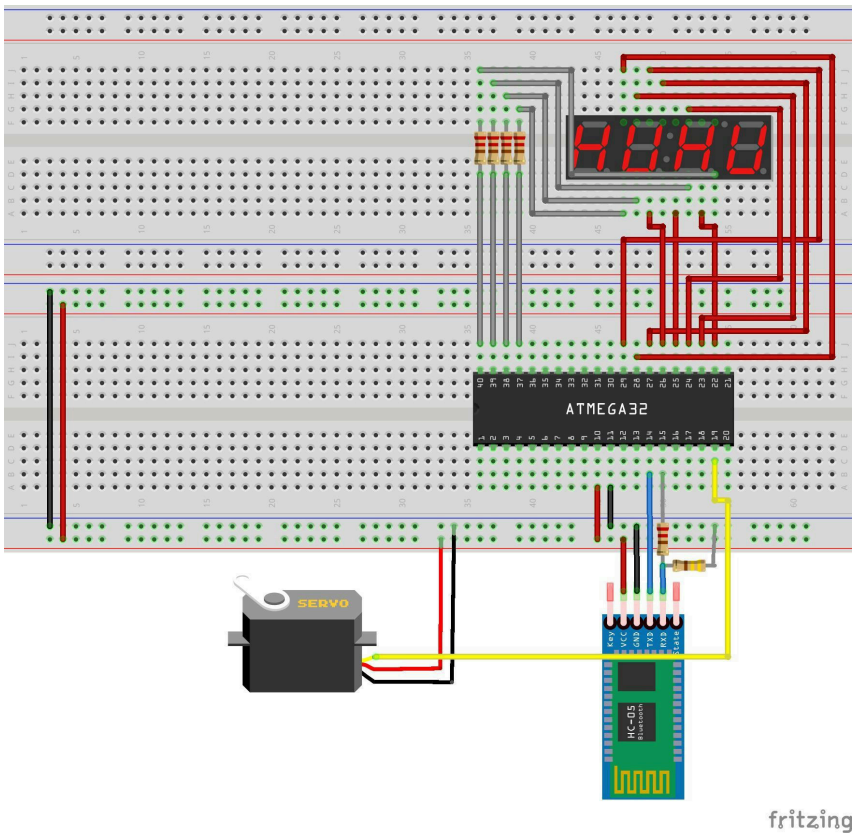
Dette er slaven. Denne har RX-interrupt fra blåtannmodulen. Da viser den på 7-segment-skjermen gjenværende tid til time/pause, basert på lengden på pausen/timen den får tilsendt hvor den trekker fra tid ved bruk av den interne klokken i mikrokontrolleren. Når det er 5 minutter til pause hever en servo et flagg halvveis opp, når det er pause heves flagget helt. Dette for å tydeliggjøre at det er pause. Når pausen er over, senkes flagget.

3. Metode

En og en komponent ble testet og det ble laget kode for rett funksjonalitet for denne komponenten. Deretter ble disse kodeutsnittene satt sammen i en sammensatt kode for funksjonaliteten på KK-modulen og en sammensatt kode for lærer-modulen. Mye inspirasjon, og informasjon om hvordan flere av komponentene som ble brukt i prosjektet fungerer, ble hentet fra leksjonene i ING1507 [1], samt databladene til de ulike komponentene. Til slutt ble alt satt i sammen, og kobling ble gjort for de ulike komponentene for å kunne opprette funksjonaliteten beskrevet innledningsvis. KK-modulen ble koblet opp som vist i Figur 1, lærer-moduelen ble koblet opp som vist i Figur 2.



Figur 1: Koblingssjema for KK-modul



Figur 2: Koblingssjema for Lærer-modul

3.1. Utstyr

3.1.1. KK-modul

- 1x ATmega32 mikrokontroller
- 1x HM-10 blåtannmodul
- 1x DS3231 Real Time Clock
- 1x 16x2 LCD
- 1x Potentiometer
- 2x koblingsbrett
- Flere ledninger og motstander

3.1.2. Lærer-modul

- 1x ATmega32 mikrokontroller

- 1x HM-10 blåtannmodul
- 1x 7-segment-skjerm
- 1x Servo
- 2x koblingsbrett
- Flere ledninger og motstander

4. Teori

4.1. Servo, PWM

Pulsbreddemodulasjon (PBM/PWM) er en måte å generere et analogt signal fra en mikrokontroller. Ved å modulere bredden på en digital puls får man ulike spenningsnivåer. Når du skal styre de fleste typer servomotorer bruker du PBM til å sende den ønskede posisjonen til servoen. En typisk servomotor forventer en puls hvert 20ms og bredden på pulsen innenfor denne perioden bestemmer vinkelen til servoen. For eksempel kan en 1ms puls være 0 grader, 1.5ms være 90 grader og 2ms være 180 grader. Med å variere pulsbredden innenfor den faste perioden, kan servomotorens posisjon settes nøyaktig.

4.2. USART

USART er en forkortelse for Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter. Dette er en protokoll for seriell kommunikasjon som brukes for å sende og motta data mellom mikrokontrollere og andre enheter. Baud rate er antall symboler som sendes eller mottas per sekund. Blåtannmodulen kommuniserer med en baud rate på 9600. Dette skaper et nøyaktighetsproblem på ATmega32 uten videre konfigurering. Normal konfigurasjon av USART på ATmega32 med standard klokkehastighet på 1MHz og baud rate på 9600, gir en baud-prescaler med −7% avvik fra en baud-verdi på 9600 (ref. Figur 3). Dette kommer av utregningen på baud-prescaler som gir et så lavt tall at nøyaktigheten blir for dårlig til å nøyaktig kunne nå baud raten på 9600 med en heltalls baud-prescaler. For å overkomme dette dobles USART-klokkehastigheten ved å sette U2X-bit i UCSRA. Da må også utregningen av prescaler dobles. Dette gir et avvik på bare 0.2% på baud raten, noe som er pålitelig nok til å få lest av og sendt data korrekt i svært stor grad.

Table 68. Examples of UBRR Settings for Commonly Used Oscillator Frequencies

Baud Rate (bps)	f_{osc} = 1.0000MHz				f_{osc} = 1.8432MHz				f_{osc} = 2.0000MHz			
	U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	25	0.2%	51	0.2%	47	0.0%	95	0.0%	51	0.2%	103	0.2%
4800	12	0.2%	25	0.2%	23	0.0%	47	0.0%	25	0.2%	51	0.2%
9600	6	-7.0%	12	0.2%	11	0.0%	23	0.0%	12	0.2%	25	0.2%
14.4k	3	8.5%	8	-3.5%	7	0.0%	15	0.0%	8	-3.5%	16	2.1%
19.2k	2	8.5%	6	-7.0%	5	0.0%	11	0.0%	6	-7.0%	12	0.2%
28.8k	1	8.5%	3	8.5%	3	0.0%	7	0.0%	3	8.5%	8	-3.5%
38.4k	1	-18.6%	2	8.5%	2	0.0%	5	0.0%	2	8.5%	6	-7.0%
57.6k	0	8.5%	1	8.5%	1	0.0%	3	0.0%	1	8.5%	3	8.5%
76.8k	–	–	1	-18.6%	1	-25.0%	2	0.0%	1	-18.6%	2	8.5%
115.2k	–	–	0	8.5%	0	0.0%	1	0.0%	0	8.5%	1	8.5%
230.4k	–	–	–	–	–	–	0	0.0%	–	–	–	–
250k	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0.0%
Max (1)	62.5 Kbps		125 Kbps		115.2 Kbps		230.4 Kbps		125 Kbps		250 Kbps	

1. UBRR = 0, Error = 0.0%

Figur 3: Avvik i baudrate på ATmega32 *(ref. Datablad for ATmega32 [2])*

4.3. HM-10 Blåtannmodul

En HM-10 blåtannmodul sender seriell data over bluetooth (blåtann). Den har en intern krets som tar seg av alt av prosessering ved overføring over bluetooth og fungerer med standardinnstillinger så snart den blir koblet opp til en spenning på 3-6v. Den kan konfigrureres ved hjelp av AT-kommandoer for å endre innstillinger som baud rate, enhetsnavn, eller om den skal være master eller slave. Det er verdt å merke seg at den interne kretsen kun er 3.3v tolerant. Logikken i ATmega32 er 5v. Dette går fint for signalet fra TX på blåtannmodul til ATmega32, da ATmega32 kan regirstrere et signal på 3.3v. Problematikken er på signalet fra TX på ATmega32 til blåtannmodulen. Den indre kretsen i blåtannmodulen kan skades dersom dette signalet er 5v. Dette løses ved å bruke en spenningsdeler med ulike motstander (se koblingsskjema i Figur 1) på dette signalet fra TX på mikrokontrolleren.

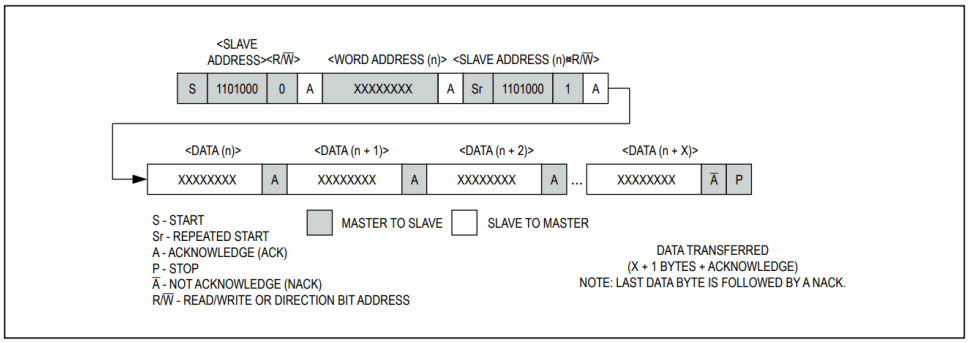
4.4. DS3231 Real Time Clock

DS3231 er en ekstremt nøyaktig klokke som fungerer over I2C. Denne har et minnebatteri, som gjør at klokken fortsetter å gå rett selv om ekstern strøm til enheten kobles fra, dette gjør at den vil kunne vise rett tid i svært lang tid. Enheten har en krystall og en temperatur-kompensert krystall. RTC-en holder styr på sekunder, minutter, timer, ukedag, dato, måned og år. Enheten har også to programmerbare alarmer.

For å hente ut tiden fra RTC senders først adressen til RTC hvor least significant bit (LSB) er satt til 0 over I2C fra masteren (ATmega32 er masteren i dette scenarioet). Dette gjør at RTC-en begynner, og er klar til å respondere på kommende meldinger. Deretter sender masteren den adressen i Figur 4 som vi ønsker å lese fra (for eksempel adresse = 03h for å lese av dagen). Deretter sendes repeated start, etterfulgt av adressen til RTC-en hvor LSB er satt til 1. Dette gjør at RTC-en sender byten med data fra denne adressen. Dersom master så sender ACK sendes byten fra neste adresse osv. For å avslutte sendes NACK og Stop. Denne prosessen følger vi i Figur 5, og er implementert i Oppføring 1.

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE
00h	0	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12/$\overline{24}$	$\overline{AM}$/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Hours	1–12 + $\overline{AM}$/PM 00–23
03h	0	0	0	0	0	Day			Day	1–7
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	Century	0	0	10 Month	Month				Month/ Century	01–12 + Century
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	A1M1	10 Seconds			Seconds				Alarm 1 Seconds	00–59
08h	A1M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 1 Minutes	00–59
09h	A1M3	12/$\overline{24}$	$\overline{AM}$/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Alarm 1 Hours	1–12 + $\overline{AM}$/PM 00–23
0Ah	A1M4	DY/DT	10 Date		Day				Alarm 1 Day	1–7
					Date				Alarm 1 Date	1–31
0Bh	A2M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 2 Minutes	00–59
0Ch	A2M3	12/$\overline{24}$	$\overline{AM}$/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Alarm 2 Hours	1–12 + $\overline{AM}$/PM 00–23
0Dh	A2M4	DY/$\overline{DT}$	10 Date		Day				Alarm 2 Day	1–7
					Date				Alarm 2 Date	1–31
0Eh	$\overline{EOSC}$	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE	Control	—
0Fh	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Control/Status	—
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	—
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MSB of Temp	—
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	LSB of Temp	—

Figur 4: Tidsregistere i DS3231 *(ref. Datablad for DS3231 [3])*



Figur 5: Prosess for avlesning DS3231

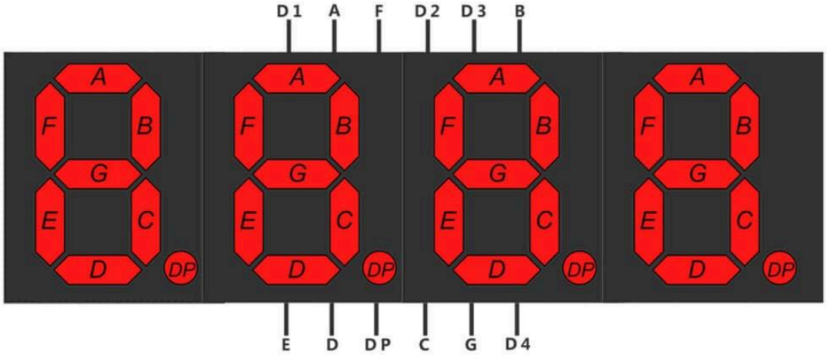
```
void RTC_Read_Clock(char read_clock_address) {
    I2C_Start(RTC_Write_address); // Start I2C communication with RTC
    I2C_Write(read_clock_address); // Write address to read
    I2C_Repeated_Start(RTC_Read_address);

    second = BDC2value(I2C_Read_Ack());
    minute = BDC2value(I2C_Read_Ack());
    hour = BDC2value(I2C_Read_Nack() & 0b00111111); //Last communication so nack.
The two MSB are not relevant
    I2C_Stop();
}
```

Oppføring 1: Kode for avlesning DS3231

4.5. 7-segment-skjerm

En 7-segment-skjerm er satt sammen av 7 led-lys med felles anode eller katode, hver av led-lysene har en egen pin. Hvis det er flere segmenter satt sammen vil det være en felles anode/katode for hvert segment og alle led-lysene for samme posisjon/samme bokstav er koblet sammen (ref. Figur 6). For å vise en bokstav på skjermen må de riktige pinnene settes høye eller lave.



Figur 6: 7-segment-skjerm *(Bildekilde: [4])*

5. Kodeprinsipper

5.1. KK-modul

5.1.1. Alarm på DS3231

Figurutklipp hentet fra databladet til DS3231 [3]

For prosjektet skal ATmega32 vekkes ved alarmen på DS3231 til kl.08.00. Alarmen settes ved å skrive til alarm-registrene (ref. Figur 4). For å få alarmen til å trigge på sekunder, minutter og timer, settes A1M4 i DS3231-register til 1 (ref. Figur 7). For å oppnå at SQW-pinnen på DS3231 settes til GND når alarmen trigges, slås Interrupt Control på ved å sette INTCN til 1. For at den skal trigge på alarm 1, slås også A1IE på (ref. Figur 8). Alarm-initieringen er implementert i Oppføring 2. Setting av alarm er implementert i Oppføring 3. Når flagget for alarmen blir satt, vekkes ATmega32 og går over i å lese av klokken. Flagget må nullstilles manuelt, og gjøres ved å sette bit-en for A1F i Figur 9 til 0. Dette er implementert i Oppføring 4.

DY/$\overline{DT}$	ALARM 1 REGISTER MASK BITS (BIT 7)				ALARM RATE
	A1M4	A1M3	A1M2	A1M1	
X	1	1	1	1	Alarm once per second
X	1	1	1	0	Alarm when seconds match
X	1	1	0	0	Alarm when minutes and seconds match
X	1	0	0	0	Alarm when hours, minutes, and seconds match
0	0	0	0	0	Alarm when date, hours, minutes, and seconds match
1	0	0	0	0	Alarm when day, hours, minutes, and seconds match

Figur 7: Konfigurering av alarm på DS3231

Control Register (0Eh)

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	$\overline{EOSC}$	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE
POR:	0	0	0	1	1	1	0	0

Figur 8: Register for å konfigurere blant annet alarm på DS3231

```
    void RTC_Alarm_Init(){
        I2C_Start(RTC_Write_address);
        I2C_Write(0xE);   // Bet at the control register position (See datasheet)
        I2C_Write(0b00000101);  // Enabling interrupt Control and Alarm 1
Interrupt Enable
        I2C_Stop();
}
```

Oppføring 2: Kode for å initiere alarm på DS3231

```
void RTC_Alarm1_Time(char _hour, char _minute, char _second){ // The alarm
triggers at the spesified time every day.
    I2C_Start(RTC_Write_address);
    I2C_Write(7);         // Set alarm1 time in register 7
    I2C_Write(value2BDC(_second));
    I2C_Write(value2BDC(_minute));
    I2C_Write(value2BDC(_hour));
    I2C_Write(0b10000000); // Set A1M4 to trigger at that time set
    I2C_Stop();
}
```

Oppføring 3: Kode for å sette alarm1

Status Register (0Fh)

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F
POR:	1	0	0	0	1	X	X	X

Figur 9: Register for å lese av / nullstille flagg

```
void RTC_Alarm_Clear(){
    I2C_Start(RTC_Write_address);
    I2C_Write(0xF);
    I2C_Write(0b10001000);  // Write 0 at the BSY, A2F and A1F flag.
    I2C_Stop();
}
}
```

Oppføring 4: Kode for å nullstille alarm-flagget

5.2. Lærer-modul

5.2.1. 7-segment-skjerm

Koden til 7-segment-skjermen funker med å skrive et og et individuelt tall til hvert segment, tallet er hentet fra en global variabel som kan oppdateres fra hele programmet. Denne funksjonen kjøres med timer hvert 20ms (50Hz). Det er satt en liste med hvilke porter som må slås på for at tallet skal vises, som hentes fra en liste med indeks som hører til tallet.

```
void diplay_one_cycle()
{
    temp = num % 10;
    PORT_DIGIT_SELECT = SegOne;
    PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
    _delay_ms(display_delay);

    temp = (num / 10) % 10;
    PORT_DIGIT_SELECT = SegTwo;
    PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
    _delay_ms(display_delay);

    temp = (num / 100) % 10;
    PORT_DIGIT_SELECT = SegThree;
    PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
    _delay_ms(display_delay);

    temp = (num / 1000) % 10;
    PORT_DIGIT_SELECT = SegFour;
    PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
    _delay_ms(display_delay);
}
}
```

Oppføring 5: Kode for å vise tall på 7-segment-skjerm

6. Diskusjon

6.1. Blåtannmodul

Konfigurering av modulen var utfordrende, da det er vanskelig å vite nøyaktig hvordan modulen opererer, særlig med lite dokumentasjon. Slike blåtannmoduler er også moduler det er finnes utallige

kopier av der ulike produsenter har ulike standarder. Dette gjør det spesielt vanskelig å finne hvilken type modul, med hvilken konfigurasjon man har, og deretter finne adekvat dokumentasjon for denne. (Utseende på en HC-06, HC-05 og HM-10-modul er tilnærmet identisk, noe som gjør det vanskelig å identifisere hvilken man har). I vårt tilfelle fant vi med mye leting ut at våres modul var av typen HM-10, de var imidlertid ikke helt etter standard, for ved flere av AT-kommandoene som var å finne i ufullstendig dokumentasjon på internett returnerte våres blåtannmoduler med "Error". Tross dette var vi i stand til å endre rolle mellom slave og master. I vårt prosjekt ble blåtannmodulen brukt ved KK-modulen satt til å være master, og lærer-modulen slave. Etter det vi kunne finne av dokumentasjon på internett om automatisk oppkobling i slave-master-par, fungerte ingen av kommandoene for å sette opp at master-modulen automatisk skulle koble seg opp til slave-modulen ved oppstart. Vi måtte derfor konkludere med at med mangel på rett dokumentasjon for våre blåtannmoduler, var ikke automatisk sammenkobling ved oppstart mulig. Dette resulterte i at man ved oppstart må koble master modulen til seriell tilbobling til PC, for å via AT-kommandoer søke etter nære blåtannmoduler og velge rett, for så å koble opp til denne.

6.2. Virkemåte KK-modul

Det er hensiktsmessig at masteren har mest mulig nøyaktig tid, da lærer-modulen settes etter denne. Derfor ble det brukt intern timer med Compare Match for å lese av klokken med 1 sekunds intervall. Dette gjør at KK-modulen har mest mulig nøyaktig tid, ettersom DS3231-klokken heller ikke har mer nøyaktighet enn 1-sekunds intervall, og mer enn dette er jo heller strengt tatt ikke nødvendig for våres formål. Noen ytteligere optimaliseringer ble også implementert for å kunne spare energi: Alarmen på DS3231 settes til kl.08:00. Slik at når tidspunktet er 08:00 settes SQW-pinnen på DS3231 til GND. KK-modulen har dette signalet som et interrupt-signal, slik at den ikke gjør noe fram til starten av dagen. Så sjekker den ukedagen den er på; dersom det er lørdag eller søndag, går den tilbake til å ikke gjøre noe. Dersom det derimot er hverdag, leser den av klokken over I2C ved hvert tidsintervall. I2C-kommunikasjonen gjør den med bruk av while-løkke mens den sender og venter på ACK, grunnen til dette er at vi er nødt til å ha kontroll på hvor vi er i kommunikasjonsprosessen, da vi først sender adressen vi leser fra, for så å lese av et bestemt antall verdier, der vi får neste verdi ved å sende ACK og må ha kontroll på når vi skal sende NACK og STOP når all klokkedata er mottatt. Ved pause-/timestart senders lengden på pausen eller timen over USART.

6.3. Virkemåte Lærer-modul

Lærer-modulen funker i slavemodus av KK-modulen. Lærer-modulen mottar i starten av et tidsintervall, med type intervall: «b» for pause (brake) og «l» for undervisning (lecture). Om det er en pause som blir sendt vil den sette flagget til å peke opp, og ned hvis det er undervisning. Etter type intervall så kommer hvor lenge intervallet skal vare i minutter. Denne tiden kommer som *string* og blir gjort om til *int* og ganget med 60, fordi modulen arbeider i sekunder. Stringen med denne informasjonen blir sendt fra masteren som minutter for å unngå å sende unødvendig mye data. Når det er 5 minutter igjen av en undervisning vil flagget bli heist til midten (45 grader), dette skjer uten at KK-modulen sender noe. Lærer-modulen bruker alle innebygde timere i mikrokontrolleren, 16 bit timer1 til servoen, 8 bit timer0 for å oppdatere 7-segment-skjermen og 8 bit timer2 for å telle ned hvert sekund, for å få denne timer-en til å telle ned hvert sekund måtte vi bruke et buffer da maks tiden var 262.144ms, den ble satt til ¼ sekund og teller ned et buffer 4 ganger før den teller ned antall sekunder igjen.

7. Feilkilder

USART på ATmega32 ble konfigurert til å bruke dobbel hastighet. Dette gjorde at baud-prescaler fikk en verdi som ga den 0.2% avvik ved baud-rate på 9600. Selv om avviket er lite, er det ikke neglisjerbart. Dette kombinert med eventuelle feil under overføring med blåtann, gjør at det er en viss mulighet for at data som sendes fra KK-modulen blir mottatt feil på lærer-modulen, og at denne

derfor vil vise feil gjenværende tid.
Fordi lærer-modulen bruker intern klokke og et buffer for å telle ned, kan telleren komme ut av takt etter flere minutter. Dette ble vurdert til å ikke være noe problem, da tiden blir maksimalt noen sekunder feil, eneste konsekvens er at det kan komme rare tallkombinasjoner på skjermen og at flagget går til halv mast noen sekunder før/etter dersom klokken skulle gått ut av synk.

8. Konklusjon

Prosjektet har vært lærerikt, og vi har fått en god forståelse for hvordan de ulike komponentene vi har brukt fungerer. Vi har også fått en god forståelse for hvordan grunnprinsippene i USART, PWM, I2C og interrupt fungerer og hvordan dette kan brukes i praksis. Vi har også fått en god forståelse for hvordan man lager mer sammensatte systemer, og hvilke utfordringer som kommer med dette, noe som har gitt en dypere forståelse for grunnprinsippene ved at problemene har måttet løses i praksis. Bruk av nye komponenter som DS3231 har også gitt mer innsikt i hvordan datablad kan brukes til å forstå hvordan en komponent fungerer, og hvordan kode må skrives for å kunne bruke denne komponenten.

9. Video

Video av litt hvordan både KK-modulen og lærer-modulen fungerer kan sees på [denne linken] (https://mega.nz/file/LBYFmBDZ#xudL_8mmVFRbZSnoe9NqkLAyeW6GrJ2vPHbj7x8PAc8).

Referanser

[1] Marshed Kassim Mohammed, “Leksjoner i datamaskinarkitektur.” 2024.

[2] Atmel Corporation, “ATmega32/L Datasheet.” [Online]. Available: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2503.pdf

[3] Analog Devices, “DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal.” [Online]. Available: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS3231.pdf

[4] “7-segment display.” [Online]. Available: https://softwareparticles.com/learn-how-a-4-digit-7-segment-led-display-works-and-how-to-control-it-using-an-arduino/

10. Vedlegg

10.1. KK_modul

10.1.1. KK_module.c

```
/*
THIS IS THE MASTER
  CONNECTION
  Wire up master to arduino
  type AT+INQ until 0x884AEA4C7E09 shows
  type AT+CONN[index of that adress]
  now connected!

  ! THE COMMUNICATION BETWEEN BLUETOOTH-MODULES NEEDS TO BE SET UP BEFORE THE
ATMEGA32 IS POWERED UP!

 * Functionallity:
 KK_module:
 - alarm set at a little before 08.00 in the weekdays, when this triggers, then it
reads from the clock in intervalls of 1 second
 - print the time on the lcd when reading
 - is bluetooth master so sends the data to the slave when close to break

 teacher_module:
 - shows the time on the 7 segmet display
 - raise the flag when break
 - lowers the flag when break over
 */

#define F_CPU 1000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "screen.h"
#include "I2C.h"

#define RTC_Write_address 0b11010000
#define RTC_Read_address 0b11010001
#include "RTC.h"


long USART_BAUDRATE = 9600;

#include "USART.h"

void timer_init();

int read_continious_clock = 0; // Boolean if clock should be read


int main(void)
{
```

```
  GICR |= 1 << INT1; // Enable INT1 (Alarm interrupt)
  MCUCR |= (1 << ISC11);
  MCUCR &= ~(1 << ISC10); //Detect falling edge

    I2C_Init();
    RTC_Clock_Write(7,59,50); // Set the time now
    RTC_Date_Write(1,5,6,24); // Set data now. Year is the 2 last digits in the
year

  RTC_Alarm_Init();
  RTC_Alarm1_Time(7,59,58);   // Wake up 2 second before start of day, to be ready

    LCD_Init();
  timer_init();
  USART_Init(USART_BAUDRATE);   // Intitialize USART with spesified baud rate
  LCD_String_xy(0,0,"Init");
  sei();

    while (1) {
    }

}

#define NUMBER_OF_BREAKS 9
int break_times[NUMBER_OF_BREAKS][3] = {
  {8, 0, 0},        // Start of day, (have break length of 0)
  {9, 25, 5},       // Break {starthour, startminute, length}
  {10, 15, 10},
  {11, 0, 45},
  {12, 25, 5},
  {13, 10, 5},
  {13, 55, 5},
  {14, 45, 5},
  {15, 30, -1}        // End of day, (have break length of -1)
};


// When alarm the SQW pin on the DS3231 gets LOW, detect this using interrupt
// When the alarm has been triggered, and interrupted the program we need to set
the flag for alarm on the DS3231 to 0 again
ISR(INT1_vect){
  LCD_String_xy(0,0,"Alarm");
  RTC_Read_Date(3);   // Read the date
  if (weekday >= 6){    // Weekday >= 6 is saturday and sunday: go back to
sleep ;=)
    read_continious_clock = 0;
  } else {
    read_continious_clock = 1; // Start to read form the clock
    TIMSK |= 1 << OCIE1A; // Enable Output Compare A Match Interrupt
  }
  RTC_Alarm_Clear();    // Need to reset the flag after alarm has been read
}


volatile int message_sent = 0; // Boolean to keep track of if we have transmitted
```

```
the message with either break- or lecture length.
volatile int period_length = 0;
volatile int period_end_minutes;
// Trigger at set interval
ISR(TIMER1_COMPA_vect){
  if (read_continious_clock){
    RTC_Read_Clock(0);
    int minutes_since_midnight = hour*60 + minute;
    char buffer[20];
    sprintf(buffer, "%02d:%02d:%02d", hour, minute, second);
    LCD_String_xy(0,0,buffer);

    char message[5];

    for (int i = 0; i < NUMBER_OF_BREAKS; i++){
      if ((minutes_since_midnight == break_times[i][0]*60 + break_times[i][1]) &&
break_times[i][2] != 0){ // If the time now is equal to the time the break starts.
And it is not the start of the day (break length = 0)
        if (break_times[i][2] == -1){   // End of day has duration = -1
          /* End of day, go back to sleep */
          USART_Transmit_String("s"); // Send stop command to Teacher module
          TIMSK &= ~(1 << OCIE1A); // Disable Output Compare A Match Interrupt
          read_continious_clock = 0;
          break;
        }

        if (message_sent == 1){         // This is reversed, as opposed to when
the break is over, this is since after we send break length it should send lecture
length
          period_length = break_times[i][2];
          period_end_minutes = minutes_since_midnight + period_length;
          sprintf(message, "b%d", period_length);   // Send the message of current
break length, identified by a "b" at index 0 in the string
          USART_Transmit_String(message);

          LCD_Clear();
          LCD_String_xy(0,0,buffer);    // To print the current time immediately
after the clear
          LCD_String_xy(1,7, "PAUSE");
          message_sent = 0;
        }
      } else if (minutes_since_midnight == break_times[i][0]*60 + break_times[i]
[1] + break_times[i][2]){ // The time now is the start of the break time + the
break length, so the break is just over
        if (message_sent == 0){
          int next_period_start_minute = break_times[i+1][0]*60 + break_times[i+1]
[1];
          period_length = next_period_start_minute - minutes_since_midnight;
          period_end_minutes = minutes_since_midnight + period_length;
          sprintf(message, "l%d", period_length);   // Send the message of current
lecture length, identified by a "l" at index 0 in the string
          USART_Transmit_String(message);

          LCD_Clear();
          LCD_String_xy(0,0,buffer);
```

```
          LCD_String_xy(1,7, "TIL PAUSE");
          message_sent = 1;
        }
      }
    }

    char message_left[20];
    int total_seconds_left = (period_end_minutes * 60 + 59) -
((minutes_since_midnight+1) * 60 + second);
    int minutes_left = total_seconds_left / 60;
    int seconds_left = total_seconds_left % 60;

    sprintf(message_left, "%03d:%02d", minutes_left, seconds_left);

    LCD_String_xy(1,0, message_left);
  }
}

void timer_init(){
  TCCR1B |= (1<<CS11) | (1<<CS10); // 64 prescaler (Use a low prescaler to make
the Count more accurate)
  TCCR1B |= 1<<WGM12;       // CTC (compare output mode)

  // Count which is equivalent to 1 sec:
  // 1 * F_CPU/prescaler
  uint16_t Count = 15625;
  OCR1A = Count;    // Put value in Output Compare Register
  TIMSK &= ~(1 << OCIE1A); // Disable Output Compare A Match Interrupt
}
```

10.1.2. I2C.h

```
/* This code is inspired from https://www.electronicwings.com/avr-atmega/atmega
1632-i2c */


void I2C_Init()
{
 TWBR = 2;           // Bit rate (See datasheet)
  PORTC |= (1<<PC0)|(1<<PC1);   // Set pull up resistor on SCL and SDA
}

void I2C_Start(char write_address)
{
 TWCR=(1<<TWSTA)|(1<<TWEN)|(1<<TWINT); // Enable TWI, generate START
  while(!(TWCR&(1<<TWINT)));        // Wait until TWI finish

  TWDR=write_address;           // Write SLA+W in TWI data register
  TWCR=(1<<TWEN)|(1<<TWINT);        // Enable TWI & clear interrupt flag
 while(!(TWCR&(1<<TWINT)));        // Wait until TWI finish its current job

}

void I2C_Repeated_Start(char read_address)
{
```

```
 TWCR=(1<<TWSTA)|(1<<TWEN)|(1<<TWINT); // Enable TWI, generate start
  while(!(TWCR&(1<<TWINT)));        // Wait until TWI finish its current job

 TWDR=read_address;            // Write SLA+R in TWI data register
  TWCR=(1<<TWEN)|(1<<TWINT);        // Enable TWI and clear interrupt flag
 while(!(TWCR&(1<<TWINT)));        // Wait until TWI finish
}

void I2C_Write(char data)
{
  TWDR=data;          // Copy data in TWI data register
  TWCR=(1<<TWEN)|(1<<TWINT);  // Enable TWI and clear interrupt flag
 while(!(TWCR&(1<<TWINT)));  // Wait until TWI finish its current job
}

char I2C_Read_Ack()
{
  TWCR=(1<<TWEN)|(1<<TWINT)|(1<<TWEA);  // Enable TWI, generation of ack
 while(!(TWCR&(1<<TWINT)));        // Wait until TWI finish its current job
 return TWDR;              // Return received data
}

char I2C_Read_Nack()
{
  TWCR=(1<<TWEN)|(1<<TWINT);  // Enable TWI and clear interrupt flag
 while(!(TWCR&(1<<TWINT)));  // Wait until TWI finish its current job
 return TWDR;        // Return received data
}

void I2C_Stop()
{
 TWCR=(1<<TWSTO)|(1<<TWINT)|(1<<TWEN); // Enable TWI, generate stop
 while(TWCR&(1<<TWSTO));         // Wait until stop condition execution
}
```

10.1.3. RTC.h

```
/* This code is inspired from https://www.electronicwings.com/avr-atmega/real-
time-clock-rtc-ds1307-interfacing-with-atmega16-32 */

uint8_t second, minute, hour, weekday, date, month, year;

uint8_t BDC2value(char BDC) {
  uint8_t value = 0;
 uint8_t tens = (BDC & 0b11110000) >> 4; // Extract the tens from the upper nibble
  uint8_t ones = (BDC & 0b00001111);      // Extract the ones from the lower
nibble
  value = tens * 10 + ones;       // Combine tens and ones to get the integer
value
  return value;
}

void RTC_Read_Clock(char read_clock_address) {
  I2C_Start(RTC_Write_address);       // Start I2C communication with RTC
  I2C_Write(read_clock_address);        // Write address to read
```

```
 I2C_Repeated_Start(RTC_Read_address);

 second = BDC2value(I2C_Read_Ack());
  minute = BDC2value(I2C_Read_Ack());
  hour = BDC2value(I2C_Read_Nack() & 0b00111111); //Last communication so nack.
The two MSB are not relevant
 I2C_Stop();
}

void RTC_Read_Date(char read_date_address) {
  I2C_Start(RTC_Write_address);
  I2C_Write(read_date_address);
  I2C_Repeated_Start(RTC_Read_address);

 weekday = I2C_Read_Ack();
  date = I2C_Read_Ack();
 month = I2C_Read_Ack();
  year = I2C_Read_Nack();
  I2C_Stop();
}

char hour2BDC(uint8_t _hour){
 // See datasheet for DS3231 how hour is decoded in register
  char BDC = 0;

 if (_hour >= 10){
    if (_hour >= 20){
      BDC |= 1 << 5;  // bit 5 represents 20 hour
      _hour -= 20;  // We need the to get just the rest
      } else {
     BDC |= 1 << 4;  // bit 4 represents 10 hour
      _hour -= 10;
   }
  }
  // Add in the rest
 BDC |= (_hour & 0b00001111); // The 4 last bits are as normal
  return BDC;
}

char value2BDC(uint8_t value){   // For minutes and seconds
 char BDC = 0;
  uint8_t tens = value/10;    // Get the number of tens in the value
 value -= tens*10;       // value is now the rest
 BDC |= tens << 4;       // The tens is put in from the bit 4
 BDC |= (value & 0b00001111);
 return BDC;
}

void RTC_Clock_Write(char _hour, char _minute, char _second){
 I2C_Start(RTC_Write_address); // Address defined in main
 I2C_Write(0);         // Be at the 0 location (second)
 I2C_Write(value2BDC(_second));
 I2C_Write(value2BDC(_minute));
 I2C_Write(value2BDC(_hour));
 I2C_Stop();
```

```
}

void RTC_Date_Write(char _weekday, char _date, char _month, char _year){
  I2C_Start(RTC_Write_address);
  I2C_Write(3);         // (First bit sent tells the location to be at) Bet at the
3. location (weekday)
 I2C_Write(_weekday);
 I2C_Write(value2BDC(_date));
 I2C_Write(value2BDC(_month));
  I2C_Write(value2BDC(_year));
 I2C_Stop();
}

void RTC_Alarm_Init(){
  I2C_Start(RTC_Write_address);
  I2C_Write(0xE);       // Bet at the control register position (See datasheet)
  I2C_Write(0b00000101);    // Enabling interrupt Control and Alarm 1 Interrupt
Enable
 I2C_Stop();
}

void RTC_Alarm1_Time(char _hour, char _minute, char _second){ // The alarm
triggers at the spesified time every day.
  I2C_Start(RTC_Write_address);
  I2C_Write(7);           // Set alarm1 time in register 7
 I2C_Write(value2BDC(_second));
 I2C_Write(value2BDC(_minute));
 I2C_Write(value2BDC(_hour));
 I2C_Write(0b10000000);        // Set A1M4 to trigger at that time set
  I2C_Stop();
}

void RTC_Alarm_Clear(){
 I2C_Start(RTC_Write_address);
  I2C_Write(0xF);
  I2C_Write(0b10001000);        // Write 0 at the BSY, A2F and A1F flag.
 I2C_Stop();
}
```

10.1.4. screen.h

```
#define LCD_Data_Dir DDRB   /* Define LCD data port direction */
#define LCD_Command_Dir DDRA /* Define LCD command port direction register */
#define LCD_Data_Port PORTB    /* Define LCD data port */
#define LCD_Command_Port PORTA /* Define LCD data port */

#define RS PA2          /* Define Register Select (data/command reg.)pin */
#define RW PA1          /* Define Read/Write signal pin */
#define EN PA0         /* Define Enable signal pin */

#include <stdio.h>

void LCD_enable_pulse(){
 LCD_Command_Port |= (1<<EN);
 _delay_us(1);
```

```
  LCD_Command_Port &= ~(1<<EN);
  _delay_us(1530); // was 3 ms
}

void LCD_Command(unsigned char cmnd)
{
 LCD_Data_Port= cmnd;
 LCD_Command_Port &= ~(1<<RS); // RS=0 command reg.
 LCD_Command_Port &= ~(1<<RW); // RW=0 Write operation
  LCD_enable_pulse();
}

void LCD_Char (unsigned char char_data)  // LCD data write function
{
 LCD_Data_Port= char_data;
  LCD_Command_Port |= (1<<RS);  // RS=1 Data reg.
  LCD_Command_Port &= ~(1<<RW); // RW=0 write operation
  LCD_enable_pulse();
}

void LCD_String (char *str)    // Send string to LCD function
{
 int i;
 for(i=0;str[i]!=0;i++)    // Send each char of string till the NULL
  {
    LCD_Char (str[i]);
 }
}

void LCD_String_xy (uint8_t row, uint8_t pos, char *str)  // Send string to LCD
with xy position
{
  if (row == 0 && pos<16)
  LCD_Command(pos|0b10000000);          // Command of first row and required
position<16
 else if (row == 1 && pos<16)
 LCD_Command(pos|0b11000000);          // Command of first row and required
position<16
 LCD_String(str);                // Call LCD string function
}

void LCD_Num(int num)      // Send a number to LCD
{
  char str[16];         // Max screen length 16
  sprintf(str, "%d", num);    // Makes num into str
  LCD_String(str);
}

void LCD_Num_xy(uint8_t row, uint8_t pos, int num)  // Send a number to LCD with
xy position
{
 if (row == 0 && pos<16)
  LCD_Command(pos|0b10000000);          // Command of first row and required
position<16
 else if (row == 1 && pos<16)
```

```
 LCD_Command(pos|0b11000000);          // Command of first row and required
position<16
 LCD_Num(num);
}

void LCD_Clear()
{
  LCD_Command (0b1);      // clear display
 LCD_Command (0b10000000); // cursor at home position
}

void LCD_Newline() {
 LCD_Command(0b11000000);  // Go to 2nd line
}

void LCD_Init (void)     // LCD Initialize function
{
 LCD_Command_Dir = 0xFF;   // Make LCD command port direction as o/p
  LCD_Data_Dir = 0xFF;    // Make LCD data port direction as o/p
 _delay_ms(20);        // LCD Power ON delay always >15ms

 LCD_Command (0b00111000); // Initialization of 16X2 LCD in 8bit mode
 LCD_Command (0b1100);   // Display ON Cursor OFF
 LCD_Command (0b0110);   // Auto Increment cursor
 LCD_Clear();
}
```

10.2. Lærer_modul

10.2.1. Lærer_module.c

```
#define F_CPU 1000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdbool.h>
#include "segment_display.h"
#include "servo.h"

#define MAX_LENGTH 20 // Maximum length of received string
volatile unsigned char dataReceived[MAX_LENGTH]; // Array to store received string
volatile uint8_t receivedIndex = 0;
#include "USART.h"

long USART_BAUDRATE = 9600;


volatile uint16_t seconds_left = 0;
volatile bool is_brake = false;
volatile bool day_over = false;

void init_seconds_timer()
{
```

```
  // Clock https://stackoverflow.com/a/34210840/7419883
  TCCR2 |= (1 << WGM21); // Configure timer 1 for CTC mode

  TIMSK |= (1 << OCIE2); // Enable CTC interrupt

  sei(); //  Enable global interrupts

 OCR2 = 244; // Set CTC compare value to 1Hz at 1MHz AVR clock, with a prescaler
of 64

 TCCR2 |= ((1 << CS20) | (1 << CS21) | (1 << CS22)); // Start timer at Fcpu/1024
}

// Stops all timers to save energy
void stop_timers()
{
 // Timer/Counter0 - Stop the timer
 TCCR0 &= ~((1 << CS02) | (1 << CS01) | (1 << CS00)); // Clear prescaler bits

  // Timer/Counter1 - Stop the timer
 TCCR1B &= ~((1 << CS12) | (1 << CS11) | (1 << CS10)); // Clear prescaler bits

 // Timer/Counter2 - Stop the timer
 TCCR2 &= ~((1 << CS22) | (1 << CS21) | (1 << CS20)); // Clear prescaler bits
}

// Starts all timers again
void start_timers()
{
 TCCR0 |= (1 << CS02); // Start timer 0 ved Fcpu/256
  TCCR1B |= (1 << CS10); // Start timer 1, prescaler
 TCCR2 |= ((1 << CS20) | (1 << CS21) | (1 << CS22)); // Start timer 2 at Fcpu/1024
}

int main() {
  // Turn of JTAG - https://www.avrfreaks.net/s/topic/a5C3l000000UK2iEAG/t090838?
comment=P-571371
  MCUCSR = (1 << JTD); //-U hfuse:w:0xD9:m
 //                 0    1    2   3    4    5   6    7    8    9
 //char seg_code[]= {0x03,0x9F,0x25,0x0d,0x99,0x49,0x41,0x1f,0x01,0x19};

 DDRB |= (1 << 0); // Set LED as output DEBUG

 seg_init();
  seconds_left = 60 * 45;

 init_seconds_timer();

 servo_init();
  moveServo(ServoDown);

 USART_Init(USART_BAUDRATE);   // Intitialize USART with spesified baud rate

 while (1);
}
```

```
// Used to get a 8 bit timer to last for 1 sec
int spacer = 4;

ISR(TIMER2_COMP_vect)
{
  spacer -= 1;
 if (spacer == 0)
 {
    seconds_left -= 1;

   num = (seconds_left/60)*100;
   num += seconds_left % 60;
    spacer = 4;

   // Flag up when 5min left to brake
   if (seconds_left == 300 && !is_brake)
    {
      moveServo(ServoMid);
   }
  }

}



void handleMessage(unsigned char str[])
{
  // Change servo state for brake and lecture
  if (str[0] == 'b')
 {
    is_brake = true;
   moveServo(ServoUp);
  }
  else if (str[0] == 'l')
  {
    is_brake = false;
    moveServo(ServoDown);
  }
  else if (str[0] == 's')
  {
    is_brake = false;
    day_over = true;
   moveServo(ServoDown);
    stop_timers();
   return 0;
  }

 if (day_over)
  {
    start_timers();
    day_over = false;
  }

 char time_left_char[MAX_LENGTH];
```

```
 // Removing the 1st index (which is either b or l)
 for (int _i = 1; str[_i] != '\0'; _i++) {
    time_left_char[_i - 1] = str[_i];
  }
  // Add the null terminator
 time_left_char[strlen(str) - 1] = '\0';

 // Convert the remaining string to integer
 seconds_left = atoi(time_left_char) * 60;
}

ISR(USART_RXC_vect) {
 unsigned char receivedChar;
  receivedChar = UDR; // Use UDR to read the received data

  if (receivedChar == '\n' || receivedIndex >= MAX_LENGTH - 1) {
   dataReceived[receivedIndex] = '\0'; // Assign the null character
   receivedIndex = 0;

   handleMessage(dataReceived);

   // Reset the buffer before each read
   memset(dataReceived, 0, MAX_LENGTH);
   } else if (receivedChar != '\r') {
   dataReceived[receivedIndex++] = receivedChar;
  }
}
```

10.2.2. segment_display.h

```
#pragma once
#ifndef segment_display_H_
#define segment_display_H_

#define SegOne   0x01
#define SegTwo   0x02
#define SegThree 0x04
#define SegFour  0x08

static char seg_code[]= {0x03,0x9F,0x25,0x0d,0x99,0x49,0x41,0x1f,0x01,0x19};  //
Hex code refers to the index of list, to be displayed on 7-segment display

int num = 0000;
int temp;

#define DDR_PINS          DDRC
#define PORT_DIGIT_PINS   PORTC

#define DDR_SELECT        DDRA
#define PORT_DIGIT_SELECT PORTA

void seg_init()
{
  /* Configure the ports as output */
  DDR_PINS = 0xff; // Data lines
```

```
 DDR_SELECT = 0xff; // Control signal PORTD0-PORTD3

 // Turn off the display
  PORT_DIGIT_SELECT = 0x00;
  PORT_DIGIT_PINS = 0xff;

 TCCR0 |= (1 << WGM01); // Configure timer 0 for CTC mode

  TIMSK |= (1 << OCIE0); // Enable CTC interrupt

  sei(); //  Enable global interrupts

 OCR0 = 39; // Set CTC compare value to 39 for 50Hz at 1MHz AVR clock, with a
prescaler of 256, 313 ved 64

 TCCR0 |= (1 << CS02); // Start timer 0 ved Fcpu/256
}

#define display_delay 1
void diplay_one_cycle()
{
 temp = num % 10;
 PORT_DIGIT_SELECT = SegOne;
  PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
  _delay_ms(display_delay);

 temp = (num / 10) % 10;
  PORT_DIGIT_SELECT = SegTwo;
  PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
  _delay_ms(display_delay);

 temp = (num / 100) % 10;
 PORT_DIGIT_SELECT = SegThree;
  PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
  _delay_ms(display_delay);

 temp = (num / 1000) % 10;
  PORT_DIGIT_SELECT = SegFour;
 PORT_DIGIT_PINS = seg_code[temp];
  _delay_ms(display_delay);
}

ISR(TIMER0_COMP_vect)
{
 diplay_one_cycle();
}

#endif /* segment_display_H_ */
```

10.2.3. servo.h

```
#ifndef SERVO_H_
#define SERVO_H_

#define ServoDown 1500
```

```
#define ServoMid 2000
#define ServoUp 2500

void servo_init()
{
 TCCR1A |= (1 << WGM11) | (1 << COM1A1); // Fast PWM, non-inverting
 TCCR1B |= (1 << WGM12) | (1 << WGM13) | (1 << CS10); // Fast PWM, prescaler

 uint16_t Ctotal = 20000;
 ICR1 = Ctotal - 1;

  DDRD |= (1 << PD5);
  OCR1A = ServoDown;
}

void moveServo(int val)
{
  OCR1A = val;
}



#endif /* SERVO_H_ */
```

10.3. Felles

10.3.1. USART.h

```
void USART_Init(long USART_BAUDRATE)
{
  UCSRB |= (1 << RXEN) | (1 << TXEN);           // Turn on transmission and
reception
  UCSRC |= (1 << URSEL) | (1 << UCSZ0) | (1 << UCSZ1);  // Use 8-bit char size
 UCSRA |= 1 << U2X;                    // Double the baudspeed
  UCSRB |= 1 << RXCIE;                  // Interrupts for RX
 long BAUD_PRESCALE = (((F_CPU / (USART_BAUDRATE * 8UL))) - 1);   // Specifies a
Baud Rate Prescale. Multiply by 2 since we use double baud speed
 UBRRL = BAUD_PRESCALE;                  // Load lower 8-bits of the baud rate
  UBRRH = (BAUD_PRESCALE >> 8);             // Load upper 8-bits
}

unsigned char USART_Receive()
{
  while ((UCSRA & (1 << RXC)) == 0);  // Wait till data is received
  return(UDR);            // Return the byte
}

unsigned char USART_Receive_buffer()
{
  return(UDR);
}

void USART_Transmit(unsigned char data){
  while ((UCSRA & (1 << UDRE)) == 0);   // Wait until the transmitter is ready
```

```
  UDR = data;               // Put the data in the register
}

void USART_Transmit_String(char str[]){
  int i = 0;
  do {
    char character = str[i];
    USART_Transmit(character);
    i++;
  } while (str[i] != '\0');
}
```