

Accelerometer

Rikard Ekström
Mattias Kindborg

Informationsteknologi
Lunds Universitet

Handledare: Bertil Larsson
7 december, 2004

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SEKTION	SIDNUMMER
ABSTRACT	1
INTRODUKTION	2
TEORI	3
ACCELEROMETERN	5
AVR	8
MENYSYSTEM	9
SLUTSATS	10
APPENDIX	11

ABSTRACT

Vårt mål med kursen var att integrera en accelerometer med mikrokontroller till en portabel enhet för att utföra önskade beräkningar. Denna enhet skulle kunna läggas i ett fordon av valfritt slag och utan interaktion med fordonet beräkna accelerationstider, bromssträcka, maximal g-kraft, samt med fordonets vikt inmatad även antalet kW/hästkrafter på fordonets drivhjul. Att lägga enheten plant skulle inte vara så noga, eftersom mjukvaran skulle jämföra det nollvärde som mättes för tillfället, med det nollvärde som uppnåts via kalibrering och då ta reda på hur snett enheten låg för tillfället. Detta kan då tas med i beräkningarna för att få korrekta värden.

INTRODUKTION

Accelerometrar används idag inom många områden: seismologi, flygtrafik och inte minst på motortävlingsbanan. Motorsporten har behov att veta hur en bil beter sig vid olika hastigheter, hur snabbt en bil går, accelerationen mellan olika hastigheter och stoppsträcka. Alla dessa mätningar har en gemensam nämnare, nämligen acceleration.

Genom att mäta accelerationen så kan man även räkna ut hastigheten och sträckan genom att integrera över tiden. Det är denna tillämpning vi är intresserade av, att genom att bara mäta två enheter (acceleration och tid) göra det möjligt för oss att räkna ut så mycket annat.

TEORI

Accelerometers uträkningar baserar sig på de fysikaliska lagarna. I detta kapitlet ges en kort demonstration av matematikens funktion i applikationen.

$s(t)$ - position vid tidpunkt t

$v(t)$ - hastighet vid tidpunkt t

$a(t)$ - acceleration vid tidpunkt t

Acceleration relaterat till hastighet:

Acceleration är definierat som

$$a(t) = \frac{dv}{dt}$$

Genom att integrera fås

$$\int_{T_1}^{T_2} a(t) dt = v(T_2) - v(T_1)$$

Om $T_1 = 0$

$$\int_0^T a(t) dt = v(T) - v(0)$$

Om vi antar att accelerationen är konstant under ett tidsintervall T

$$\int_0^T a(t) dt = v(T) - v(0)$$

$$[at]_0^T = v(T) - v(0)$$

$$aT = v(T) - v(0)$$

Om vi dessutom antar att begynnelsehastigheten $v(0) = 0$

$$v(T) = aT$$

Sträcka relaterat till hastighet:

Hastighet är definierat som

$$v(t) = \frac{ds}{dt}$$

Genom att integrera fås

$$\int_{T_1}^{T_2} v(t) dt = s(T_2) - s(T_1)$$

Om T_1 sätts till 0

$$\int_0^T v(t) dt = s(T) - s(0)$$

Om vi antar att accelerationen, och därmed hastigheten, är konstant under ett tidsintervall T

$$\begin{aligned} \int_0^T v(t) dt &= s(T) - s(0) \\ \int_0^T (v(0) + at) dt &= s(T) - s(0) \\ \left[v(0)t + \frac{at^2}{2} \right]_0^T &= s(T) - s(0) \\ v(0)T + \frac{aT^2}{2} &= s(T) - s(0) \end{aligned}$$

Om vi antar att $s(0) = 0$

$$s(T) = v(0)T + \frac{aT^2}{2}$$

Om vi antar att $v(0) = 0$

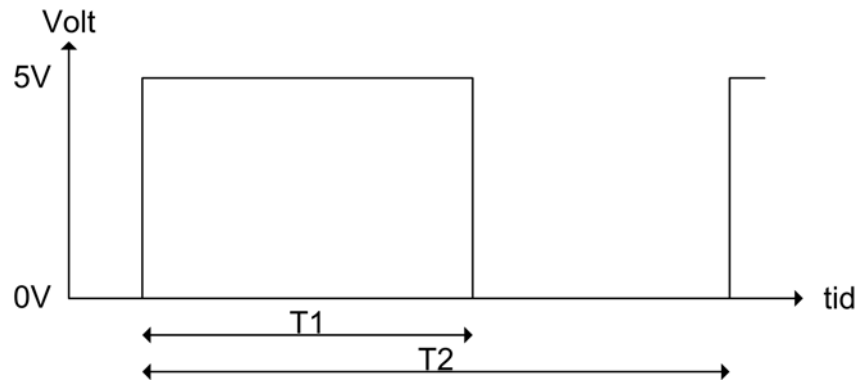
$$s(T) = \frac{aT^2}{2}$$

De två ekvationer som används i applikationen är

$$v(T) = v(0) + aT \quad \text{och} \quad s(T) = v(0)T + \frac{aT^2}{2}$$

ACCELEROMETERN

Accelerometern ADXL202 från *Analog Devices* är komponenten som mäter acceleration. Den mäter $\pm 2g$ i två axlar och presenterar accelerationen som en pulsbreddsmodulerad signal till AVR: n.



T1 är den aktiva delen av pulsen medan T2 är perioden. Kvoten

$$\frac{\frac{T1}{T2} - \left(\frac{T1}{T2} \text{ vid } 0g\right)}{0.125} = g \text{ kraft}$$

ger ett mått på hur stor g-kraft som påverkar accelerometern.

Ex:

$$\left(\frac{T1}{T2} \text{ vid } 0g\right) \text{ är fabriksinställt till } 0.5$$

$$\frac{T1}{T2} = 0.75$$

$$\frac{0.75 - 0.5}{0.125} = 2g$$

T2 kan varieras av användaren med hjälp av en resistor. I denna applikation är T2 satt till 2.35 ms, vilket betyder att AVR: n får 426 värden på accelerationen per sekund:

$$f = \frac{1}{2.35ms} \approx 426 \text{ Hz}$$

Om man låter AVR: n räkna upp och spara värdena vid T1: s slut och sedan värdet på perioden T2 så kan man använda dem till att räkna ut kvoten. Denna applikation använder en AVR med klockfrekvensen 16 MHz. Detta ger att AVR: n hinner att räkna till

$$2.35ms * 16MHz = 37600$$

under periodtiden T2.

Eftersom en ändring av T1/T2 på 0.125 är lika med ett g, så betyder det att

$$37600 * 0.125 = 4700 = \text{värdet AVR:n räknar upp under 1g}$$

$$\text{Upplösningen} = 4700^{-1} \approx 0.2128 \text{ mg}$$

Detta betyder att vi med AVR: en teoretiskt kan mäta en accelerationsförändring på ungefär 0.2 mg.

Mätningar på accelerometern:

Att lita på databladet utan att göra mätningar själv är inte att rekommendera. Därför gjordes en omfattande mätstudie för att för denna accelerometern ta reda på faktorn T1/T2 för både 0, 1 och -1g.

Mätning vid 0g

Nr	T1	T2	T1/T2
1	18580	37626	0.493807474
2	18556	37792	0.491003387
3	18589	37693	0.493168493
4	18615	37761	0.492968936
5	18545	37769	0.491011147
6	18581	37761	0.492068536
7	18535	37758	0.490889348
8	18570	37667	0.493004487
9	18550	37673	0.492395084
10	18485	37758	0.489565125
11	18531	37747	0.490926431
12	18566	37729	0.492088314
13	18548	37743	0.491428874
14	18562	37655	0.492949144
15	18518	37737	0.490712033
16	18513	37743	0.49050155
17	18541	37654	0.492404525
18	18534	37730	0.49122714
19	18552	37646	0.49280136
20	18542	37737	0.491348014

Medelvärde: **0.49181347**

Enligt specifikationerna så ska det fabriksinställda värdet på T1/T2 vara 0.5. Enligt våra mätningar är inte så fallet.

Mätning vid 1g				Mätning vid -1g		
Nr	T1	T2	T1/T2	T1	T2	T1/T2
1	8624	13956	0.617942104	5114	14020	0.364764622
2	8625	13955	0.618058044	5176	14028	0.368976333
3	8688	13992	0.620926244	5112	14028	0.364414029
4	8620	13953	0.617788289	5083	14017	0.362631091
5	8625	13947	0.618412562	5112	14023	0.364543963
6	8689	14027	0.619448207	5107	14015	0.364395291
7	8620	13988	0.616242494	5137	14016	0.366509703
8	8625	13986	0.616688117	5091	14008	0.36343518
9	8623	13988	0.616456963	5093	14009	0.363552002
10	8622	13989	0.616341411	5099	14007	0.36403227
11	8617	13988	0.616028024	5106	14009	0.364479977
12	8615	13988	0.615885044	5095	14021	0.363383496
13	8617	13989	0.615983987	5095	14014	0.363565006
14	8617	13985	0.616160172	5070	14008	0.361936037
15	8684	14022	0.619312509	5096	14010	0.363740186
16	8626	13994	0.616407032	5091	14000	0.363642857
17	8619	13952	0.617760894	5092	14001	0.363688308
18	8617	13951	0.617661816	5092	13999	0.363740267
19	8616	13991	0.615824459	5094	13994	0.364013148
20	8625	13996	0.616247499	5087	13996	0.363460989

Medelvärde: **0.617278794** Medelvärde: **0.364145238**

$$|(\text{medelvärde } 1g) - (\text{medelvärde } 0g)| = |0.617278794 - 0.49181347| = 0.125465324$$

$$|(\text{medelvärde } -1g) - (\text{medelvärde } 0g)| = |0.364145238 - 0.49181347| = 0.127668232$$

$$0.125465324 - 0.127668232 = -0.002202908$$

Värdet på 1g och -1g ger inte samma utslag runt det definierade 0g-värdet. Det betyder att accelerometern inte är helt linjär. Men i denna applikation antas ändå linjäritet på grund av den lilla avvikelser.

AVR

AVR: ens mätningar på accelerometern

För att kunna ta reda på förhållandet mellan accelerometers positiva del av signalen, T1, och dess periodtid, T2, måste AVR: en på något sätt hålla reda på var i tiden flankerna kommer. Detta kan skötas med hjälp av pinne 20 på AVR: en, som har en specialfunktion som är kopplad till AVR: ens 16-bitars räknare.

Med denna funktion aktiverad, fungerar pinne 20 som en ingång, där antingen uppåt- eller neråtgående flank genererar ett *input capture* avbrott. Då ett sådant avbrott genereras, läggs räknarens aktuella värde i ett 16-bitars register. Detta register måste sedan läsas innan ett nytt avbrott kommer, för att undvika att skrivas över. Skulle fel värde användas leder detta till felaktiga beräkningar och följaktligen vill man läsa av registrets värde allra först, eller mycket tidigt, i avbrottsrutinen. 16-bitars räknaren ökar sitt värde med en given skalfaktor, i vårt fall i samma hastighet som AVR: ens klockfrekvens, 16 MHz. Denna klockfrekvens går inte att åstadkomma med denna AVR: s interna oscillator, utan en extern kristall sitter kopplad mellan pinne 12 och 13.

När en positiv flank kommer, genereras ett avbrott. I avbrottsrutinen läser vi av registrets sparade räknarvärde och ändrar även så att avbrott istället kommer att genereras på neråtgående flank. Då nästa avbrott kommer, läses på nytt räknarvärdet av och åter sätts avbrott att genereras på uppåtgående flank. Det som genererat de två avbrotten är en uppåtgående och en neråtgående flank, det vill säga T1. Då det tredje avbrottet kommer innebär det att hela T2 slutförts och nu har vi alla värden som behövs för att beräkna den aktuella accelerationen. Avståndet mellan de två första värdena som lästes av är T1, medan avståndet mellan det första och det tredje är T2. Eftersom alla värden använder samma räknare och därmed har samma frekvens, behöver inte denna tas med i kvotberäkningen mellan T1 och T2.

Är det så att ett räknarvärde som lästs av är mindre än det föregående räknarvärdet, har 16-bitars räknaren nått sitt toppvärde och börjat om från noll igen. Med denna vetskap har vi valt att inte nollställa räknaren någonsin, utan helt enkelt ta hänsyn till att den börjar om från noll då den nått värdet 65535.

Accelerometers periodtid är 2.35 ms och under denna tid gör mjukvaran beräkningar samt skriver ut den nuvarande accelerationen på LCD: n. Detta sker utan att inverka på exaktheten i beräkningarna, det vill säga vi missar inte att läsa av räknarvärdet i 16-bitars registret.

MENYSYSTEM

För att kunna välja mellan olika mätningar på sitt fordon ville vi ha ett menysystem. Menyn skulle styras med hjälp av tre knappar och utskrift skulle ske på en två raders alfanumerisk display med 16 tecken per rad. Knapparna är kopplade via störningsdämpande elektronik till en OR-grind. Denna grind är i sin tur kopplad till int0 på AVR: en. Då ett avbrott genereras läses tre pinnar av på AVR: en som är kopplade till knapparna via den störningsdämpande elektroniken. Med hjälp av det avlästa värdet kan man avgöra vilken knapp som är nertryckt.

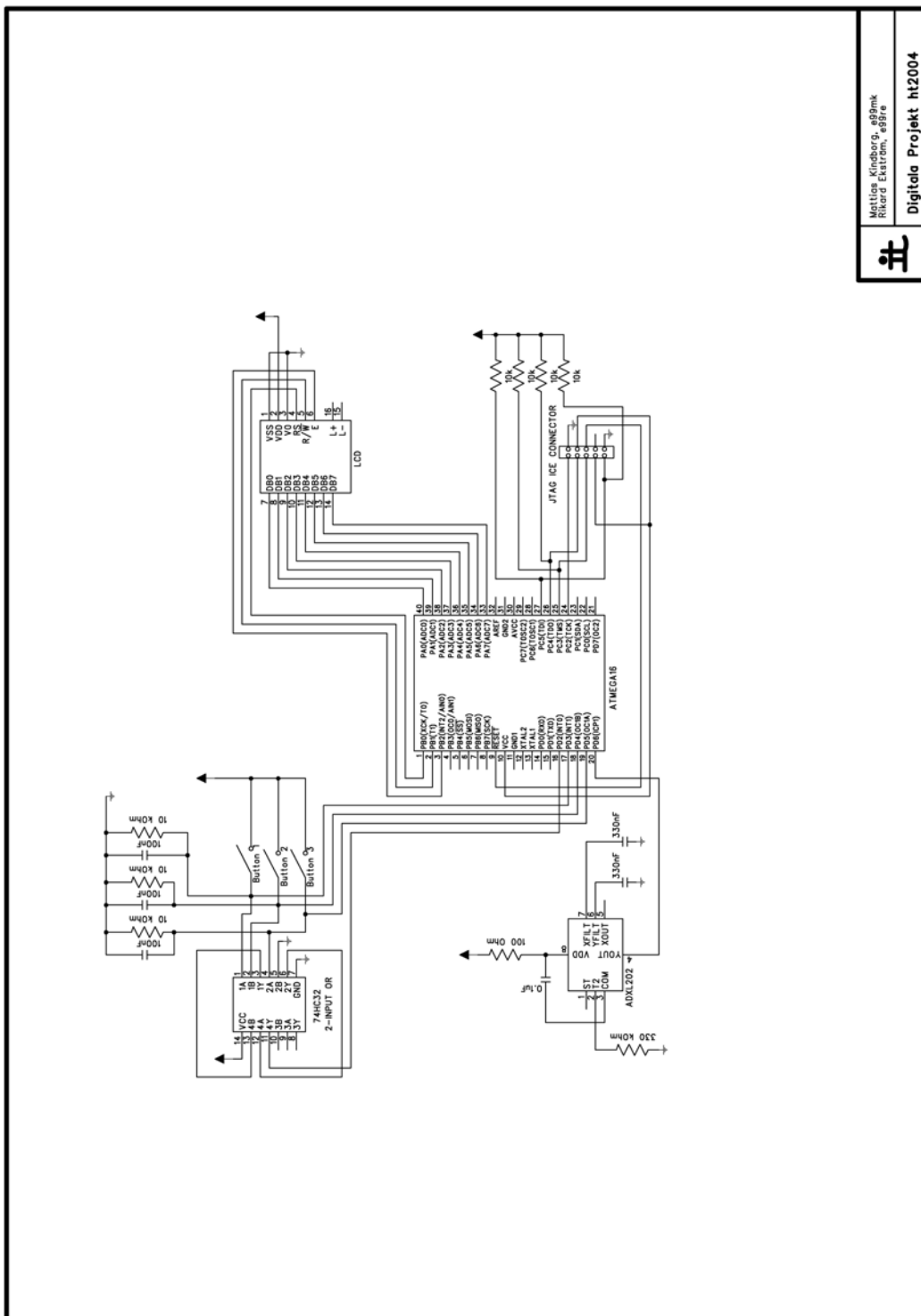
De tre knapparna hade i stigande ordning funktionerna bakåt i menyn, framåt i menyn och välj nuvarande alternativ. Tyvärr fungerade inte detta som tänkt, ty knapparna hade mycket så kallat *button bounce*. Detta innebär att signalen inte stabiliseras till fem volt direkt vid knapptryckningen. Vi fick även störningar på signalen som kom lite här och var i tid. Detta gjorde att det genererades fler avbrott, eftersom signalen skiftade mellan triggnivåerna. Vi lade ner mycket tid på att få detta att fungera som tänkt, men har alltså ännu i skrivande stund inte lyckats få rätt på problemet/problemen kring knapparna och menyn.

SLUTSATS

Så här i slutet känns det som om vi varit tvungna att lägga ner för mycket tid på saker vi inte i början tänkte koncentrera oss på. Att skriva ut strängar på LCD: n tog för lång tid, att implementera ett menysystem med fysiska knappar har fått oss att slita i vårt hår, att kalibrera accelerometern tog väldigt lång tid även om det kändes som en nödvändighet för att producera bra värden.

Givetvis så har vi lyckats med att mäta både acceleration och hastighet medan vi bara skrapat på mätningen av sträcka. Så visst känns det lite snopet här i slutet, där resultatet av våra kraftansträngningar visade sig ge mycket mindre än vi räknat med i början. Vi har givetvis lärt oss en hel del på vägen: AVR: n känns som en familjevän, accelerometern som en snäll lillasyster och LCD tillsammans med menysystemet som den äldre brodern man aldrig riktigt ville ha.

APPENDIX



Kretsschema