

ΗΡΥ411- Ενσωματωμένα Συστήματα Μικροεπεξεργαστών

Εργαστήριο 1

LAB41145851

Εμμανουήλ Πετράκος AM 2014030009

Για την υλοποίηση της άσκησης έχουν κατασκευαστεί δύο χρονιστές, ένας με βρόχο καθυστέρησης στο κυρίως πρόγραμμα και ένας με χρήση περιφερειακού χρονομετρητή. Και στις δύο περιπτώσεις, ως έξοδος ορίζεται το bit 0 του PORTB και η λειτουργικότητα επαναλαμβάνεται επ' αόριστον. Δηλαδή, η έξοδος γίνεται εναλλάξ 1, 0, 1, κλπ. ανά ένα μέτρημα του χρονιστή. Κάθε μέτρημα διαρκεί 1ms και στις δύο περιπτώσεις.

Επεξήγηση προσέγγισης

Στην περίπτωση του χρονιστή με βρόχο, η καθυστέρηση επιτυγχάνεται με την εκτέλεση εντολών. Οι απαραίτητες εντολές για την αρχικοποίηση του προγράμματος και για την αλλαγή της εξόδου διαρκούν τέσσερις και τρεις κύκλους αντίστοιχα. Η συνολική διάρκεια των εντολών καθυστέρησης υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}F_{clk} * t_{\text{χρονιστή}} &= c_{\text{αρχ}} + c_{\text{εξ}} + c_{\text{καθ}} \Rightarrow \\c_{\text{καθ}} &= F_{clk} * t_{\text{χρονιστή}} - c_{\text{αρχ}} - c_{\text{εξ}} \Rightarrow \\c_{\text{καθ}} &= 10 \text{ MHz} * 1 \text{ ms} - 4 - 3 = 9993 \text{ κύκλοι ρολογιού}\end{aligned}$$

Αν η μέτρηση των επαναλήψεων γίνει με έναν 8 bit καταχωρητή, το μέγιστο πλήθος τους ισούται με 256. Σαν αποτέλεσμα, κάθε επανάληψης πρέπει να διαρκεί περισσότερο από $9993 / 256 = 39.04$ κύκλους. Αυτό μπορεί να γίνει γεμίζοντας το με *nop* εντολές ή χρησιμοποιώντας δεύτερο εμφωλευμένο βρόχο. Και στις δύο περιπτώσεις, ο κώδικας γίνεται δυσανάγνωστος και το πρόγραμμα δυσκολότερο στην ανάλυση και αποσφαλμάτωση. Για αυτό, επιλέχθηκε η μέτρηση να γίνει με ένα ζευγάρι καταχωρητών καθιστώντας τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων με $256 * 256 = 65536$. Παίρνοντας υπόψιν ότι η αρχικοποίηση των καταχωρητών διαρκεί 2 κύκλους, το ελάχιστο μέγεθος του βρόχου είναι 4 κύκλοι και ότι η τελευταία επανάληψη διαρκεί έναν κύκλο λιγότερο λόγω του χρονισμού των branch στην αντ' αρχιτεκτονική, ο αριθμός των επαναλήψεων μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\begin{aligned}c_{\text{καθ}} &= c_{\text{κατ}} + c_{\text{loop}} * (n - 1) + c_{\text{loop}} \Rightarrow \\9993 &= 2 + 4 * (n - 1) + 3 \Rightarrow \\n &= 2498\end{aligned}$$

Τέλος, η αλλαγή της εξόδου γίνεται κάνοντας exclusive or την τιμή της PortB με την κατάλληλη μάσκα (0x01) ώστε να αλλάζει το bit 0 και να μην επηρεάζονται τα υπόλοιπα.

Στον δεύτερο χρονιστή, η καθυστέρηση επιτυγχάνεται με την χρήση interrupts από τον timer0. Πριν την ρύθμιση του χρονομετρητή, πρέπει να ρυθμιστεί ο stack pointer ώστε το πρόγραμμα να

επιστρέφει από την συνάρτηση εξυπηρέτησης των interrupts στο σημείο που αυτά εμφανίστηκαν. Ο timer τίθεται σε λειτουργία σύγκρισης καθώς επιτρέπει την προσαρμογή του χρόνου μέτρησης και στην αντίστοιχη θέση του πίνακα διευθύνσεων των interrupts (\$026) εισάγεται μια εντολή jump προς την ρουτίνα εξυπηρέτησης του interrupt. Επίσης, για να επαναλαμβάνεται η λειτουργικότητα του προγράμματος, ενεργοποιείται η εκκαθάριση του καταχωρητή μέτρησης σε περίπτωση interrupt (CTC mode).

Η ρύθμιση του χρόνου μέτρησης γίνεται μέσω δύο παραμέτρων, τον prescaler και την τιμή του καταχωρητή σύγκρισης (OCR). Η επιλογή της πρώτης μπορεί να γίνει βάση του παρακάτω πίνακα. Με μικρότερο κβάντο χρόνου η μέτρηση είναι πιο ακριβής, αλλά για να γίνει η μέτρηση με ένα interrupt πρέπει να συμπληρώνεται 1ms με πλήθος κβάντων ≤ 256 , λόγω του 8 bit μετρητή. Για αυτό επιλέγεται ο prescaler /64.

Prescaler	Ανάλυση /Κβάντο χρόνου	Μέγιστος χρόνος μέτρησης
No prescaler	0.1μs	25.6μs
/8	0.8μs	204.8μs
/64	6.4μs	~1.638ms
/256	25.6μs	~6.553ms
/1024	102.4μs	~26.214ms

$$f_{\text{Clk_Timer0}} = f_{\text{Clk}} = 10\text{MHz}$$

Ο υπολογισμός της τιμής του καταχωρητή σύγκρισης γίνεται είτε διαιρώντας τον επιθυμητό χρόνο με το κβάντο χρόνου είτε με τον παρακάτω τύπο. Και με τους δύο τρόπους η τιμή είναι 155.

$$f_{\text{interrupt}} = \frac{f_{\text{clk}}}{\text{Prescaler} * (\text{OCR} + 1)} \Rightarrow \text{OCR} = \frac{f_{\text{clk}}}{\text{Prescaler} * f_{\text{interrupt}}} - 1 = \frac{10\text{ MHz}}{64 * 1\text{ KHz}} - 1 = \sim 155$$

Τέλος, το πρόγραμμα μπαίνει σε ένα ατέρμον βρόχο και τα interrupts εξυπηρετούνται στην αντίστοιχη ρουτίνα, όπου αλλάζει την έξοδο όπως και ο προηγούμενος χρονιστής.

Πειραματική Διαδικασία

Η επαλήθευση της λειτουργικότητας των χρονομετρητών γίνεται μέσω του simulation του Atmel Studio 7. Χρησιμοποιώντας τα παράθυρα “I/O” και “Processor Status” φαίνεται η κατάσταση της εξόδου κάθε χρονική στιγμή. Επίσης, στο δεύτερο παράθυρο μπορεί να οριστεί η επιθυμητή τιμή της συχνότητας λειτουργίας.

Loop timer

I/O				Processor Status	
Name	Address	Value	Bits	Name	Value
I/O PINB	0x36	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Status Register	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRB	0x37	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Cycle Counter	9999
I/O PORTB	0x38	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Frequency	10,000 MHz
				Stop Watch	999,90 μs

$$1 \text{ κύκλος πριν } t = 1\text{ms} / \text{PortB bit } 0 = 0$$

I/O				Processor Status	
Name	Address	Value	Bits	Name	Value
I/O PINB	0x36	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Status Register	I T H S V N Z C
I/O DDRB	0x37	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Cycle Counter	10000
I/O PORTB	0x38	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Frequency	10,000 MHz
				Stop Watch	1.000,00 μ s

$t = 1ms / \text{PortB bit } 0 = 1$

I/O				Processor Status	
Name	Address	Value	Bits	Name	Value
I/O PINB	0x36	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Status Register	I T H S V N Z C
I/O DDRB	0x37	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Cycle Counter	20000
I/O PORTB	0x38	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Frequency	10,000 MHz
				Stop Watch	2.000,00 μ s

$t = 2ms / \text{PortB bit } 0 = 0$

Interrupt timer

I/O				Processor Status	
Name	Address	Value	Bits	Name	Value
I/O PINB	0x36	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Status Register	I T H S V N Z C
I/O DDRB	0x37	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Cycle Counter	9992
I/O PORTB	0x38	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Frequency	10,000 MHz
				Stop Watch	999,20 μ s

$t = 0.9992ms / \text{PortB bit } 0 = 0$

I/O				Processor Status	
Name	Address	Value	Bits	Name	Value
I/O PINB	0x36	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Status Register	I T H S V N Z C
I/O DDRB	0x37	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Cycle Counter	9993
I/O PORTB	0x38	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Frequency	10,000 MHz
				Stop Watch	999,30 μ s

$t = 0.9993ms / \text{PortB bit } 0 = 1$

I/O				Processor Status	
Name	Address	Value	Bits	Name	Value
I/O PINB	0x36	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Status Register	I T H S V N Z C
I/O DDRB	0x37	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Cycle Counter	19977
I/O PORTB	0x38	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Frequency	10,000 MHz
				Stop Watch	1.997,70 μ s

$t = 1.9977ms / \text{PortB bit } 0 = 0$

Ανάλυση & Παρατηρήσεις

Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι ο χρονομετρητής Interrupt δεν είναι απολύτως ακριβής. Για αυτό ευθύνεται ότι το κβάντο χρόνου δεν διαιρεί τέλεια την επιθυμητή τιμή. Μεταξύ δύο διαδοχικών αλλαγών της εξόδου ο χρόνος είναι 998.4 μ s, δηλαδή το λάθος είναι 0.16%. Αν η εφαρμογή απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο 16bit μετρητής, καθώς επιτρέπει μικρότερο prescaler, άρα και μικρότερο κβάντο χρόνου.

Μια άλλη σημαντική παρατήρηση είναι ο χρόνος που απασχολούσε τον AVR CPU το κάθε πρόγραμμα. Στη περίπτωση του loop χρονιστή, και τους 10000 κύκλους που χρειάζονται για να συμπληρωθεί το 1ms, τον απασχολούσε. Αντίθετα, ο interrupt χρονιστής τον χρειάζεται ~25 κύκλους στην πρώτη μέτρηση και <10 στις υπόλοιπες, καθώς οι αρχικοποιήσεις γίνονται μόνο μια φορά. Σαν συμπέρασμα, ο δεύτερος χρονιστής είναι αρκετά πιο ελκυστική λύση, καθώς ελευθερώνει τον επεξεργαστή χρησιμοποιώντας τους περιφερειακούς πόρους του μικροελεγκτή.

Πηγές

ATmega16 manual

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/doc2466.pdf>

AVR130: Setup and Use of AVR Timers

ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-2505-Setup-and-Use-of-AVR-Timers_ApplicationNote_AVR130.pdf

AVR Instruction Set Manual

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-0856-avr-instruction-set-manual.pdf>