

Ενσωματωμένα Συστήματα Μικροεπεξεργαστών – ΗΡΥ411

Αναφορά Εργαστηρίου 9 – Αφαιρώντας την αναπήδηση διακοπών χωρίς και με Εξωτερικές Διακοπές (Interrupts)

Ομάδα: LAB41145877

Κιούλος Ευάγγελος 2016030056

Εισαγωγή:

Σκοπός της ένατης εργαστηριακής άσκησης ήταν η αφαίρεση της αναπήδησης διακοπών με την χρήση κώδικα. Η αφαίρεση της αναπήδησης έγινε με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος, είναι με δειγματοληψία της εισόδου ανά 1 msec χρησιμοποιώντας τον TIMER/COUNTER0(Polling) και ο δεύτερος τρόπος είναι με την χρήση των εξωτερικών Interrupts. Στο συγκεκριμένο εργαστήριο υλοποιείται η αφαίρεση της αναπήδησης για διακόπτη SPDT(Single Pole Double Throw) με δύο ακροδέκτες A και A'.

Υλοποίηση Λύσης με Polling:

Χάρτης Μνήμης:

0x0060	0x0061	0x0062	...	...	...	...	...
...
...	...	...	...	...	...	...	0x045F

- **Διεύθυνση “0x0060”:** Παρούσα κατάσταση του διακόπτη. Αν έχει την τιμή ‘0’ η κατάσταση είναι “STATE_BOUNCING”, αν έχει την τιμή ‘1’ η κατάσταση είναι “STATE_SET”.
- **Διεύθυνση “0x0061”:** Τελευταία κατασταλαγμένη είσοδος.
- **Διεύθυνση “0x0062”:** Αποθήκευση counter για μέτρηση του χρονικού πλαισίου των 10 msec.
- **Διεύθυνση “0x045F”:** Stack

Υλοποίηση Κώδικα:

Αρχικά, δημιουργήθηκε η συνάρτηση “void TIMER0_init(void)” για την αρχικοποίηση του 8bit TIMER/COUNTER0, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε σε Normal mode με prescaler $f_{clk}/64$ και αρχική τιμή του TCNT0 την τιμή “100”. Η τιμή του prescaler και του TCNT0 υπολογίστηκε μέσο του τύπου $f_{OCnA} = \frac{f_{clk}}{2N(1+OCRnA)}$ (σελίδα 102 ATmega16 manual). Ο υπολογισμός του prescaler και του TCNT0, υπάρχει αναλυτικότερα στην αναφορά του εργαστηρίου 1. Τέλος, το bit TOIE0 του καταχωρητή TIMSK τέθηκε στην τιμή ‘1’ για την ενεργοποίηση του Timer0 Overflow Interrupt.

Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το PIN0(PA0) του PORTA για τον ακροδέκτη A και το PIN1(PA1) του PORTA για τον ακροδέκτη A'. Η έξοδος του συστήματος ορίστηκε στο PIN2(PA2) του PORTA. Στην παρούσα υλοποίηση, ο ακροδέκτης A(PA0) χρησιμοποιείται σαν το “ON” του διακόπτη και ο ακροδέκτης A' σαν το “OFF” του διακόπτη. Επομένως, όταν η τιμή της εισόδου κατασταλάξει, στην έξοδο(PA2) θα υπάρχει η τιμή του ακροδέκτη A(PA0). Για την περιγραφή της κατάστασης του διακόπτη έχουν οριστεί δύο καταστάσεις. Η

Επιπλέον, ο διακόπτης είναι στην κατάσταση “STATE_SET”, όπως φαίνεται από την τιμή στην μνήμη:

Memory 4	
Memory:	data IRAM
data 0x0060	01 00 00 00 00 00 00 00
data 0x0075	00 00 00 00 00 00 00 00
data 0x008A	00 00 00 00 00 00 00 00

Στην συνέχεια, εκτελούμε το αρχείο “lab9_on.stim” το οποίο προσομοιώνει την αναπήδηση “0->1->0->1” στον ακροδέκτη A(PA0) με την τιμή του A’(PA1) να είναι ‘0’. Αρχικά παρατηρούμε ότι οι ακροδέκτες A και A’ έχουν την τιμή ‘0’.

Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	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"/>
I/O DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	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"/>

Επιστρέφοντας από το interrupt, παρατηρούμε ότι ο διακόπτης βρίσκεται στην κατάσταση “STATE_BOUNCING” καθώς η τιμή της διεύθυνσης “0x0060” είναι ‘0’.

Memory 4	
Memory:	data IRAM
data 0x0060	00 00 00 00 00 00 00 00
data 0x0075	00 00 00 00 00 00 00 00
data 0x008A	00 00 00 00 00 00 00 00

Στην συνέχεια παρατηρούμε ότι ο ακροδέκτης A έχει την τιμή ‘1’ και ο A’ έχει την τιμή ‘0’.

Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	0x01	<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"/>
I/O DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	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"/>

Και η κατάσταση παραμένει να είναι “STATE_BOUNCING”. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι εφόσον είμαστε στην κατάσταση “STATE_BOUNCING” έχει ξεκινήσει να μετρίεται το χρονικό πλαίσιο των 10 msec. Όπως παρατηρούμε από την τιμή της διεύθυνσης “0x0062”.

Memory 4	
Memory:	data IRAM
data 0x0060	00 00 01 00 00 00 00 00
data 0x0075	00 00 00 00 00 00 00 00
data 0x008A	00 00 00 00 00 00 00 00

Στην συνέχεια ότι οι ακροδέκτες A και A’ έχουν ξανά την τιμή ‘0’, η κατάσταση συνεχίζει να είναι “STATE_BOUNCING” και ο μετρητής για τον το χρονικό πλαίσιο των 10 msec αυξάνεται.

Memory 4	
Memory:	data IRAM
data 0x0060	00 00 02 00 00 00 00 00
data 0x0075	00 00 00 00 00 00 00 00
data 0x008A	00 00 00 00 00 00 00 00

Επιστρέφοντας από το interrupt παρατηρούμε ότι ο διακόπτης μεταβαίνει από την κατάσταση “STATE_SET” στην κατάσταση “STATE_BOUNCING”.

Memory 4									
Memory: data IRAM									
data	0x0060	00	01	00	00	00	00	00	00
data	0x0075	00	00	00	00	00	00	00	00
data	0x008A	00	00	00	00	00	00	00	00

Συνεχίζοντας την εκτέλεση, παρατηρούμε ότι ο ακροδέκτης A έχει την τιμή ‘0’ και ο A’ έχει την τιμή ‘1’.

Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	0x06	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Και ο μετρητής αρχίζει να μετράει για τον χρόνο των 10 msec.

Memory 4									
Memory: data IRAM									
data	0x0060	00	01	01	00	00	00	00	00
data	0x0075	00	00	00	00	00	00	00	00
data	0x008A	00	00	00	00	00	00	00	00

Αντίστοιχα με το προηγούμενο σενάριο, συνεχίζοντας την εκτέλεση παρατηρούμε ότι στο τέλος των αναπηδήσεων ο ακροδέκτης A έχει την τιμή ‘0’ ενώ ο A’ την τιμή ‘1’.

Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	0x06	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Memory 4									
Memory: data IRAM									
data	0x0060	00	01	03	00	00	00	00	00
data	0x0075	00	00	00	00	00	00	00	00
data	0x008A	00	00	00	00	00	00	00	00

Συνεχίζοντας την εκτέλεση μέχρι το τέλος των 10 msec παρατηρούμε ότι η τιμή των ακροδεκτών έχει παραμείνει σταθερή.

Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	0x06	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Memory 4									
Memory: data IRAM									
data	0x0060	00	01	0a	00	00	00	00	00
data	0x0075	00	00	00	00	00	00	00	00
data	0x008A	00	00	00	00	00	00	00	00

Μετά τα 10 msec, παρατηρούμε ότι η τιμή της εξόδου παίρνει την τιμή του ακροδέκτη A (δηλαδή την τιμή ‘0’).

Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	0x02	<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"/>
I/O DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	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"/>

Και η νέα σταθερή τιμή αποθηκεύεται στην διεύθυνση “0x0061” της μνήμης.

Memory 4									
Memory:		data IRAM							
data	0x0060	00	00	0a	00	00			
data	0x0075	00	00	00	00	00			
data	0x008A	00	00	00	00	00			

Τέλος, μετά την επιστροφή από το interrupt στο κύριο πρόγραμμα, παρατηρούμε ότι η κατάσταση του διακόπτη έχει μεταβεί στην κατάσταση “STATE_SET” και η τιμή του μετρητή είναι ‘0’.

Memory 4									
Memory:		data IRAM							
data	0x0060	01	00	00	00	00			
data	0x0075	00	00	00	00	00			
data	0x008A	00	00	00	00	00			

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα αρχεία “.stim” που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω, υπάρχουν στο παραδοτέο φάκελο.

Υλοποίηση Λύσης με Εξωτερικά Interrupt:

Για την υλοποίηση με τα εξωτερικά interrupts, αρχικά δημιουργήθηκε η συνάρτηση “void ExternalInterrupt_init(void)”, στην οποία αρχικοποιείται η τιμή των bits ISC00, ISC01, ISC10 και ISC11 στην τιμή ‘1’, το οποίο ορίζει ότι τα interrupts θα καλούνται στην θετική ακμή της αλλαγής της τιμής τους. Επιπλέον, τα bits INT0 και INT1 του καταχωρητή GICR θέτονται στην τιμή ‘1’ για την ενεργοποίηση των εξωτερικών interrupt.

Το σώμα του κύριου προγράμματος(main()) περιγράφεται από το παρακάτω διάγραμμα:



Για τον ακροδέκτη A χρησιμοποιείται το εξωτερικό interrupt INT0, το οποίο αντιστοιχεί στον ακροδέκτη PD2 του PORTD, ενώ για τον ακροδέκτη Α' χρησιμοποιείται το εξωτερικό interrupt INT1, το οποίο αντιστοιχεί στον ακροδέκτη PD3 του PORTD. Για την έξοδο του διακόπτη, χρησιμοποιείται ο ακροδέκτης PA2 του PORTA. Σε κάθε περίπτωση, η έξοδος δίνεται από τη κατασταλαγμένη τιμή του ακροδέκτη A, δηλαδή από την τιμή του pin PD2. Και τα δύο interrupts ενεργοποιούνται στην θετική ακμή της αλλαγής της τιμής των ακροδεκτών PD2 και PD3, δηλαδή στην μετάβαση από την τιμή ‘0’ στην τιμή ‘1’. Αυτό γίνεται γιατί, με βάση την λειτουργία του διακόπτη, παρατηρήθηκε ότι ο ακροδέκτης που κάνει αναπήδηση είναι ο ακροδέκτης ο οποίος μεταβαίνει από την τιμή ‘0’ στην τιμή ‘1’. Επομένως, όταν ενεργοποιείται το INT0 που αντιστοιχεί στην αναπήδηση το ακροδέκτη A, η έξοδος στο PA2 θα πάρει την τιμή ‘1’. Αντίστοιχα, όταν ενεργοποιείται το INT1(δηλαδή ο Α' κάνει αναπήδηση) η τιμή της εξόδου θα είναι ‘0’.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο κώδικας της παραπάνω υλοποίησης υπάρχει στο project “HPY411_Lab_9_b.c” του παραδοτέου φάκελου.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης Υλοποίησης με Εξωτερικά Interrupt:

Αρχικά, εκτελέστηκε το αρχείο “lab9_b_on.stim” στο οποίο αρχικά δίνουμε την τιμή ‘0’ στον ακροδέκτη A και την τιμή ‘1’ στον ακροδέκτη Α' για μερικές χιλιάδες κύκλους για να

αρχικοποιήσουμε τον διακόπτη στο “OFF”, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Το πρόγραμμα μεταβαίνει στην ρουτίνα εξυπηρέτησης του interrupt INT1, όπως θα περιμέναμε και θέτει την τιμή της εξόδου ‘0’. Στην ουσία δεν έχουμε καμία αλλαγή στην έξοδο του προγράμματος και ο διακόπτης αρχικοποιείται στο “OFF”.

Name	Address	Value	Bits
I/O PIND	0x30	0x08	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRD	0x31	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"/>
I/O PORTD	0x32	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"/>

Στην συνέχεια, δίνουμε και στους δύο ακροδέκτες την τιμή ‘0’. Επειδή τα interrupts ενεργοποιούνται μόνο στην μετάβαση από ‘0’ σε ‘1’, το πρόγραμμα θα αγνοήσει αυτή την αλλαγή και θα συνεχίσει την κανονική ροή του. Έπειτα, ο ακροδέκτης A παίρνει την τιμή ‘1’ και ο ακροδέκτης Α’ την τιμή ‘0’ όπως φαίνεται και παρακάτω.

Name	Address	Value	Bits
I/O PIND	0x30	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRD	0x31	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"/>
I/O PORTD	0x32	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"/>

Συνεπώς, παρατηρούμε ότι το πρόγραμμα μεταβαίνει στην ρουτίνα εξυπηρέτησης του interrupt INT0 και βγάζει στην έξοδο την τιμή ‘1’.




Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Στην συνέχεια, μέχρι να τελειώσει η εκτέλεση του αρχείου “.stim”, παρατηρούμε ότι η τιμή ‘1’ παραμένει στην έξοδο(PA2) χωρίς να επηρεάζεται από την αναπήδηση του ακροδέκτη A.

Μετά από μερικούς χιλιάδες κύκλους, εκτελούμε το αρχείο “lab9_b_off.stim”. Παρατηρούμε ότι αρχικά το αρχείο “.stim” δίνει την τιμή ‘1’ στον ακροδέκτη A και την τιμή ‘0’ στον ακροδέκτη Α’ (δηλαδή τις προηγούμενες τιμές τους) και επομένως δεν έχουμε καμία αλλαγή στην έξοδο PA2. Στην συνέχεια και οι δύο ακροδέκτες παίρνουν την τιμή ‘0’ και παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει αλλαγή στο πρόγραμμα μας. Αυτό συμβαίνει καθώς δεν είχαμε κάποια μετάβαση από ‘0’ σε ‘1’ επομένως δεν ενεργοποιήθηκε κανένα interrupt. Συνεχίζοντας με την εκτέλεση του αρχείου “.stim”, παρατηρούμε ότι ο ακροδέκτης A παίρνει την τιμή ‘0’ ενώ ο ακροδέκτης Α’ παίρνει την τιμή ‘1’.

Name	Address	Value	Bits
I/O PIND	0x30	0x08	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRD	0x31	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"/>
I/O PORTD	0x32	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"/>

Στην συνέχεια, ενεργοποιείται το interrupt INT1 καθώς ο ακροδέκτης Α’ άλλαξε από την τιμή ‘0’ στην τιμή ‘1’ και η έξοδος PA2 γίνεται ‘0’.

Name	Address	Value	Bits
 PINA	0x39	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"/>
 DDRA	0x3A	0x04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
 PORTA	0x3B	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"/>

Στην συνέχεια, μέχρι να τελειώσει η εκτέλεση του αρχείου “.stim”, παρατηρούμε ότι η τιμή ‘0’ παραμένει στην έξοδο(PA2) χωρίς να επηρεάζεται από την αναπήδηση του ακροδέκτη A’.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα αρχεία “.stim” που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω, υπάρχουν στο παραδοτέο φάκελο.

Συμπεράσματα:

Συγκρίνοντας τις δύο υλοποιήσεις παρατηρούμε ότι στην υλοποίηση με τα εξωτερικά interrupts η τιμή της εισόδου χρειάζεται πολύ λιγότερους κύκλους για να κατασταλάξει σε σχέση με την υλοποίηση με polling, καθώς δεν χρειάζεται μετρήσουμε τον χρόνο των 10 msec για να εμφανίσουμε την έξοδο. Επιπλέον, η υλοποίηση με interrupt δεν χρησιμοποιεί καθόλου χώρο από την μνήμη RAM, σε αντίθεση με την υλοποίηση του polling που χρησιμοποιεί 3 bytes της μνήμης. Παρόλα αυτά, για την υλοποίηση με interrupts χρησιμοποιούμε και τα δύο διαθέσιμα εξωτερικά interrupt.