



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

---

**ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ**

---

**Εργασία:**

Αναφορά Πρότζεκτ Sudoku

**Φοιτητές:**

Βασιλείου Παναγιώτης  
2017030067

Ιωάννης-Ιάσων Γεωργακάς  
2017030021

December 23, 2021

# Contents

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Τεχνολογία</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Περιγραφή της υλοποίησης</b>	<b>2</b>
3.1	Σειριακή Θύρα RS232 . . . . .	2
3.2	Επεξεργασία των εντολών . . . . .	3
3.3	Αλγόριθμός επίλυσης Sudoku . . . . .	3
3.3.1	Απόδοση αλγορίθμων επίλυσης Sudoku . . . . .	3
3.4	Οθόνη - Progress Bar . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Έλεγχος σωστής λειτουργίας</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Παράρτημα Α - Τα Sudoku παζλ που χρησιμοποιήθηκαν</b>	<b>5</b>
5.1	easy puzzle . . . . .	5
5.2	easy2 puzzle . . . . .	6
5.3	inter puzzle . . . . .	6
5.4	inter2 puzzle . . . . .	7
5.5	diff puzzle . . . . .	7
5.6	hard puzzle . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Παράρτημα Β - Ανάλυση και απόδοση βελτιστοποιημένου αλ- γορίθμου</b>	<b>8</b>

# 1 Εισαγωγή

Σκοπός του Project είναι η επίλυση ενός παιχνιδιού Sudoku (9x9 πλέγμα) χρησιμοποιώντας έναν μικροελεγκτή AVR. Η διεπαφή του μικροελεγκτή με τον εξωτερικό κόσμο υλοποιείται με χρήση της σειριακής θύρας RS232 και με τη χρήση του τερματικού προγράμματος putty.

## 2 Τεχνολογία

Για την υλοποίηση του project χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα STK500 με τον μικροελεγκτή ATmega16L με συχνότητα ρολογιού 10MHz (εξωτερικός κρύσταλλος). Τα μοντέλα του μικροελεγκτή και του κρυστάλλου τηρούν προδιαγραφές οι οποίες είναι κοινές για όλες τις ομάδες. Η συγγραφή του κώδικα πραγματοποιήθηκε στη γλώσσα C με τον avr-gcc compiler (έκδοση 5.4.0). Για το κατέβασμα του κώδικα στη πλακέτα STK500 χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα Microchip Studio με τη χρήση του προγραμματιστή avrdude. Για την επικοινωνία της πλακέτα με τον εξωτερικό κόσμο χρησιμοποιήθηκε ένα καλώδιο USB σε Serial RS232 (βύσμα DB9).

## 3 Περιγραφή της υλοποίησης

Το πρότζεκτ αποτελείται από 4 μέρη τα οποία είναι η διεπαφή της σειριακής θύρας, η επεξεργασία των εντολών, ο αλγόριθμος επίλυσης του Sudoku και η οθόνη, η οποία εμφανίζει τη πρόοδο επίλυσης του Sudoku.

### 3.1 Σειριακή Θύρα RS232

Η επικοινωνία του μικροελεγκτή με το χρήστη επιτυγχάνεται μέσω της σειριακής θύρας ορίζοντας τις παραμέτρους της έτσι ώστε να τηρούν τις προδιαγραφές:

- BAUD rate 9600 bps
- 8 data bits
- No parity
- 1 stop bit

Για το σετάρισμα του BAUD rate στην τιμή 9600 φορτώθηκε στον 16-bit καταχωρητή UBRR η τιμή  $F_{CPU}/16/USART\_BAUDRATE - 1 = 10 * 10^6 / 16 / 9600 - 1 = 64.10$ , το οποίο απλοποιείται στο 64 (ο UBRR δέχεται ακέραιες τιμές).

Στη συνέχεια, ενεργοποιείται η λήψη και η μετάδοση δεδομένων μέσω των flags RXEN και TXEN του UCSRB. Τα interrupt flags τόσο της λήψης όσο και της μετάδοσης, ενεργοποιούνται προκειμένου ο μικροελεγκτής να λαμβάνει και να μεταδίδει δεδομένα με χρήση interrupts αντί για polling. Το τελευταίο δεν προτιμήθηκε λόγω χαμηλότερης απόδοσης.

Τέλος, για την ρύθμιση 8 data bits, αρχικά ενεργοποιείται ο UCSRC (ίδιος με τον UBRRH) με το URSEL bit και τίθενται τα UCSZ0 και UCSZ1 στην τιμή 1. Για τη ρύθμιση του parity και του stop bit, δεν απαιτείται κάποια ενέργεια καθώς είναι αυτόματα ρυθμισμένα στην επιθυμητή τιμή (0).

### 3.2 Επεξεργασία των εντολών

Οι εντολές που υποστηρίζει το ενσωματωμένο σύστημα παρατίθενται στο Table 1. Οι εντολές εκτελούνται στο main loop όταν καλείται η συνάρτηση process(). Σε αυτή αρχικά διαβάζεται ο receive buffer και αποκωδικοποιείται μία νέα εντολή, εφόσον υπάρχει. Στη συνέχεια εκτελείται η αντίστοιχη ενέργεια και μεταδίδεται η απάντηση από τον AVR χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση transmit() η οποία περιοδικά εξετάζει εάν υπάρχει νέος χαρακτήρας προς μετάδοση και αν υπάρχει τον στέλνει στο PC.

### 3.3 Αλγόριθμος επίλυσης Sudoku

Για την επίλυση του Sudoku χρησιμοποιήθηκε ένας απλός αναδρομικός backtrack αλγόριθμος. Ο αλγόριθμος αρχικά βρίσκει ένα άδειο κελί και αποθηκεύει την 1η έγκυρη εικασία, ξεκινώντας από το 1 με μέγιστο τιμή το 9. Για να είναι έγκυρη μία εικασία, θα πρέπει ο συγκεκριμένος αριθμός να μην βρίσκεται ήδη στην ίδια γραμμή, στήλη και 3x3 τετράγωνο. Εφόσον το Sudoku περιέχει πλέον ένα παραπάνω συμπληρωμένο κελί, γίνεται η αναδρομική κλήση. Εάν, η συνάρτηση επίλυσης (solve) επιστρέψει 0, τότε γίνεται backtrack μηδενίζοντας το συγκεκριμένο κελί. Η solve θα επιστρέψει 0, μόνο όταν κάποιο άδειο κελί δεν μπορεί να πάρει καμία τιμή μεταξύ 1 και 9.

Λόγω του διαγωνισμού, στον οποίο θα πάρει μέρος κάθε ομάδα υλοποιήθηκε και ένας βελτιστοποιημένος αλγόριθμος επίλυσης, ωστόσο ήταν ανάγκαια η χρήση δυναμικά καταναεμημένης μνήμης και το αποτυπώμα της μνήμης ήταν μεγάλο. Τα δύο παραπάνω παρατηρήθηκαν αφού πρώτα έγινε η υλοποίηση του βελτιστοποιημένου αλγορίθμου σε απλή C και εκτελώντας τον σε επεξεργαστή γενικού σκοπού. Τέλος, κατεβάζοντας τον βελτιστοποιημένο αλγόριθμο στον ATmega16L, το αποτέλεσμα ήταν να μη λύνονται αρκετά Sudoku λόγω αδυναμίας παραχώρησης παραπάνω μνήμης. Η ανάλυση του βελτιστοποιημένου κώδικα και η σύγκρισή του (σε επεξεργαστή γενικού σκοπού, όχι σε AVR) με τον απλό αλγόριθμο βρίσκεται στο Παράρτημα Β.

Εντολή από PC ή AVR	Ενέργεια εντολής	Απάντηση προς PC ή AVR
"AT\r\n" (Από PC)	Έναρξη επικοινωνίας με τον AVR	"OK\r\n" (Προς AVR)
"C\r\n" (Από PC)	Καθαρισμός πίνακα και οθόνης	"OK\r\n" (Προς AVR)
"NXYVAL\r\n" (Από PC)	Τιμή κελιού (VAL) sudoku[X][Y], X,Y ∈ [1,9]	"OK\r\n" (Προς AVR)
"P\r\n" (Από PC)	Ξεκινάει να παίζει-λύνει το παιχνίδι	"OK\r\n" (Προς AVR)
"S\r\n" (Από PC)	Ρωτάει τον AVR αν τέλειωσε η λύση του Sudoku	"D\r\n" αν έχει τελειώσει (Προς AVR)
"T\r\n" (Από PC)	Στέλνει τμές κελιών στο PC, μία τιμή κάθε φορά που λαμβάνει αυτή την εντολή	"NXYVAL\r\n" (Προς AVR)
"D\r\n" (Από AVR)	Ρωτάει τον AVR αν του έστειλε όλα τα δεδομένα	"OK\r\n" (Προς PC)
"B\r\n" (Από PC)	Σταμάτησε τους υπολογισμούς ή τη μετάδοση αποτελεσμάτων (warm start)	"OK\r\n" (Προς AVR)
"DXYVAL\r\n" (Από PC)	Στέλνει τα περιεχόμενα του κελιού sudoku[X][Y]	"NXYVAL\r\n" (Προς AVR)

Table 1: Σετ εντολών

### 3.3.1 Απόδοση αλγορίθμων επίλυσης Sudoku

Στον Πίνακα ?? αποτυπώνεται ο χρόνος επίλυσης διαφορετικών βαθμών δυσκολίας Sudoku.

## 3.4 Οθόνη - Progress Bar

Για την απεικόνιση της προόδου επίλυσης του Sudoku χρησιμοποιήθηκαν τα LEDs κοινής ανόδου (CA) της πλακέτας. Συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια επίλυσης του Sudoku πραγματοποιείται περιοδικά έλεγχος σχετικά με το πόσα κελιά του πίνακα είναι συμπληρωμένα, με βάση αυτόν τον αριθμό ανάβει ο ανάλογος αριθμός LEDs (Table 2). Για την υλοποίηση της περιοδικής ανανέωσης των LEDs χρησιμοποιήθηκε ο Timer 0 σε λειτουργία compare θέτωντας το καταχωρητή OCR0 στη τιμή 125

κατά την αρχικοποίηση του Timer 0. Ο prescaler τέθηκε στην τιμή 256 θέτοντας στο καταχωρητή TCCR0 το bit CS02 ίσο με 1. Με βάση τις παραπάνω τιμές αρχικοποίησης του Timer 0 και τον παρακάτω τύπο υπολογίστηκε ότι η οθόνη έχει ρυθμό ανανέωσης 38 Hz.

$$f_{OC0} = \frac{f_{CLK}}{2*N*(1+OCR0)} = \frac{10MHz}{2*1024*126} = 38.44Hz$$

LEDs	Clues found
LEDs off	< 10
LED00	≥ 10
LED00-01	≥ 20
LED00-02	≥ 30
LED00-03	≥ 40
LED00-04	≥ 50
LED00-05	≥ 60
LED00-06	≥ 70
LED00-07	≥ 80

Table 2: Progress Bar

4 Έλεγχος σωστής λειτουργίας

5 Παράρτημα Α - Τα Sudoku παζλ που χρησιμοποιήθηκαν

5.1 easy puzzle

1	7	4		9		6		
				3	8	1	5	7
5	3		7		1			4
		7	3	4	9	8		
8	4		5			3	6	
3		5			6	4	7	
2	8	6	9					1
			6	2	7		3	8
	5	3		8			9	6

5.2 easy2 puzzle

1		5	7		2	6	3	8
2					6			5
	6	3	8	4		2	1	
	5	9	2		1	3	8	
		2		5	8			9
7	1			3		5		2
		4	5	6		7	2	
5					4		6	3
3	2	6	1		7			4

### 5.3 inter puzzle

5	1	7	6				3	4
2	8	9			4			
3	4	6	2		5		9	
6		2					1	
	3	8			6		4	7
	9						7	8
7		3	4			5	6	

### 5.4 inter2 puzzle

5	1	7	6				3	4
	8	9			4			
3		6	2		5		9	
6							1	
	3				6		4	7
	9						7	8
7		3	4			5	6	



### 5.5 diff puzzle

		5	3					
8							2	
	7			1		5		
4					5	3		
	1			7				6
		3	2				8	
	6		5					9
		4					3	
					9	7		

### 5.6 hard puzzle

8	5				2	4		
7	2							9
		4						
			1		7			2
3		5				9		
	4							
				8			7	
	1	7						
				3	6		4	

## 6 Παράρτημα Β - Ανάλυση και απόδοση βελτιστοποιημένου αλγορίθμου

Ο βελτιστοποιημένος αλγόριθμος αρχικά

Παρακάτω παρτίθενται τα αποτελέσματα από τη σύγκριση του απλού και του βελτιστοποιημένου αλγορίθμου επίλυσης

Sudoku	Επιλύθηκε	Χρόνος	Αριθμός backtracks
easy	Ναι	0.068133 ms	21
easy_opt	Ναι	0.122267 ms	0
easy2	Ναι	0.086267 ms	34
easy2_opt	Ναι	0.0958 ms	1
inter	Ναι	0.853 ms	579
inter_opt	Όχι	0.186467 ms	6
inter2	Ναι	7.866733 ms	6363
inter2_opt	Όχι	0.004379 ms	7
diff	Ναι	5.6304 ms	9949
diff_opt	Όχι	0.555 ms	9
hard	Ναι	161.5358 ms	335578
hard_opt	Όχι	0.637267 ms	11

Table 3: Μέσος χρόνος επίλυσης των παζλ του Παραρτήματος Α με χρήση του απλού και του βελτιστοποιημένου αλγορίθμου σε επεξεργαστή γενικού σκοπού.