



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΤΠΑ, ΤΣ & ΕΚΤ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑΝΕΚ

ΕΠΑΝΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



ΕΣΠΑ
2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

**Ανάπτυξη Μεθοδολογιών και Ενσωματωμένων Λύσεων Ασφάλειας για Τεχνολογίες
Internet of Things σε ηλεκτρονικές Υπηρεσίες Υγείας – MELITY (Τ1ΕΔΚ-01958)**



Πρωτότυπο αντλίας έγχυσης: Ενσωματωμένο σύστημα και λογισμικό

ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΡΓΟΥ:	ΕΕ2
ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ:	Π2.1
ΕΚΔΟΣΗ:	Τελικό
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ:	Υποβληθείσα
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ:	9/10/2019
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΦΟΡΕΑΣ:	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΦΟΡΕΙΣ	MICREL

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	4
1. Αρχιτεκτονική	5
1.1. Υλικό του Εργαστηριακού Πρωτοτύπου.....	6
1.1.1 Μικροελεγκτής & αναπτυξιακή πλατφόρμα	7
1.1.2 Αναπτυξιακή πλακέτα RFID	9
1.2. Λογισμικό και Λειτουργικότητα του Εργαστηριακού πρωτοτύπου	9
2. Προσομοίωση Έγχυσης με χρήση Matlab.....	14
3. Παρουσίαση δοκιμαστικών σεναρίων	16
Οπισθόφυλλο	18

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση των τριών COTS μικροελεγκτών ως προς την κατανάλωση, την συχνότητα λειτουργίας και το μέγεθος μνήμης	8
Πίνακας 2: Σύγκριση των τριών COTS μικροελεγκτών ως προς τους μηχανισμούς ασφάλειας που υποστηρίζουν	8
Πίνακας 3: Οι βασικές λειτουργίες του εργαστηριακού πρωτοτύπου	13

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Λειτουργία αντλίας έγχυσης	5
Εικόνα 2: RC522 της εταιρίας Mifare	9
Εικόνα 3: Συνοπτικό διάγραμμα του λογισμικού του συστήματος	10
Εικόνα 4: Εμφάνιση των παραμέτρων και των συστατικών του μοντέλου σε Matlab (Simulink)	14
Εικόνα 5: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έγχυσης	15
Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής	17

Εισαγωγή

Το Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων (IoMT) αφορά ένα σύνολο ιατρικών συσκευών και εφαρμογών που έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με συστήματα πληροφορικής για την παροχή ιατρικών υπηρεσιών. Το IoMT αποτελεί μια πραγματικότητα στις μέρες μας και είναι μια αναπόφευκτη μελλοντική μετάβαση η οποία έχει στόχο να βελτιώσει τις παρεχόμενες υπηρεσίες σε διάφορους τομείς.

Πρωταρχικός του στόχος είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής του ασθενούς. Ο εκάστοτε ασθενής μπορεί να παρακολουθείται από ένα γιατρό απομακρυσμένα και να λαμβάνει προσωπική ιατρική φροντίδα και περίθαλψη σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, η παρακολούθηση ενός ασθενούς σε πραγματικό χρόνο παρέχει τη δυνατότητα ειδοποίησης σε περίπτωση επείγουσας κατάστασης και άμεσης αντιμετώπισής της. Από τη σκοπιά του παρόχου της υπηρεσίας IoMT, η συγκεκριμένη λογική μειώνει το κόστος της ιατρικής περίθαλψης, βελτιώνει την λειτουργικότητά της και αυξάνει την δυνατότητα παρεχόμενων υπηρεσιών στον ασθενή. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομούνται πόροι τόσο σε ανθρώπινο δυναμικό όσο και σε επίπεδο ιατρικού εξοπλισμού.

Η ανάγκη αυτή για παροχή υπηρεσιών IoMT εγείρει πληθώρα κινδύνων είτε από την άποψη της ιδιωτικότητας είτε ως προς κινδύνους που σχετίζονται με την ανθρώπινη ζωή. Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των συσκευών IoMT είναι η συνδεσιμότητα. Από τη σκοπιά της ασφάλειας το πλεονέκτημα αυτό αποτελεί ωστόσο ένα σημαντικό τρωτό σημείο. Όσο πιο μεγάλη είναι η κλίμακα της προσβασιμότητας σε μία υπηρεσία και/ή συσκευή τόσο πιο μεγάλο είναι το εύρος των δυνατών επιθέσεων.

Δεδομένης της επικινδυνότητας αλλά και του παράγοντα επιρροής (impact factor) που αφορά η χρήση υπηρεσιών IoMT είναι επιβεβλημένη η αξιολόγησή τους σε βάθος από τη σκοπιά της ασφάλειας. Για την αξιολόγηση αυτή είναι απαραίτητη η ύπαρξη μίας πλατφόρμας η οποία θα μπορεί αφενός να προσομοιώνει ρεαλιστικά την λειτουργικότητα μιας συσκευής IoMT και αφετέρου να είναι επεκτάσιμη σε επίπεδο υλικού για την μελέτη διαφορετικών τεχνολογιών. Η ανάγκη αυτή μας οδήγησε στην δημιουργία μιας πλατφόρμας με δυνατότητες που έχουν σκοπό την έρευνα και την εκτίμηση της ασφάλειας IoMT συσκευών.

1. Αρχιτεκτονική

Το εργαστηριακό πρωτότυπο της αντλίας έγχυσης αποτελείται από τα μέρη που απεικονίζονται στην Εικόνα 1. Στην καρδιά του συστήματος βρίσκεται ένας προγραμματιζόμενος μικροελεγκτής, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση των βασικών λειτουργιών της αντλίας όπως έχουν περιγραφεί στο Παραδοτέο Π1.1. Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε (Ενότητα Εργασίας 1, Παραδοτέο Π1.1-παρ. 4.4) καταλήξαμε στην επιλογή τριών COTS (Commercial Off The Shelf) μικροελεγκτών της εταιρίας NXP για την υλοποίηση του εργαστηριακού πρωτοτύπου. Κάθε ένας από τους μικροελεγκτές αυτούς προσφέρει διαφορετικές δυνατότητες ως προς την κατανάλωση, το κόστος καθώς και τη συνδεσιμότητα και την ασφάλεια.

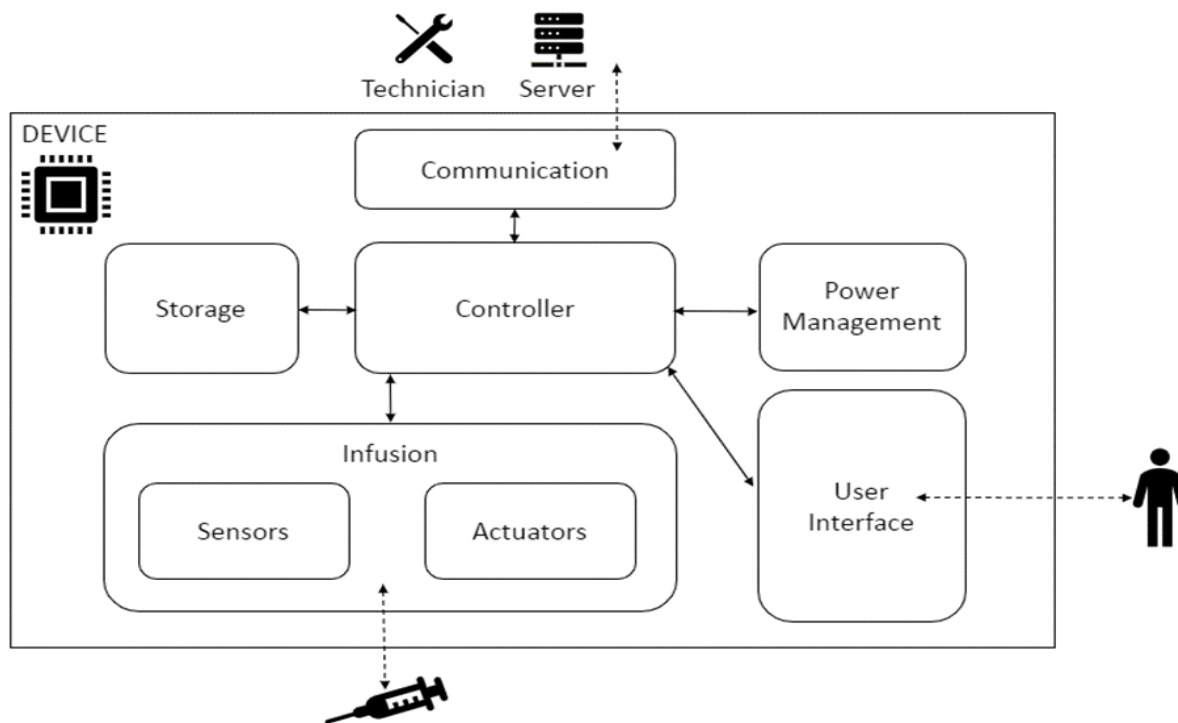
Συνδεσιμότητα: Το σύστημα διαθέτει πολλαπλές ολοκληρωμένες δυνατότητες συνδεσιμότητας ανάλογα με το μοντέλο του μικροελεγκτή δίνοντας μας την δυνατότητα να ενεργοποιήσουμε και να μελετήσουμε ως προς την ασφάλειά τους διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Οι διαθέσιμες δυνατότητες συνδεσιμότητας περιγράφονται πιο αναλυτικά στις παρακάτω ενότητες.

Μνήμη αποθήκευσης: Οι μικροελεγκτές που έχουμε επιλέξει διαθέτουν εσωτερική μη-πτητική (flash) μνήμη.

Διεπαφή χρήστη-συσκευής: Υλοποιείται με την χρήση πιεστικών διακοπών (buttons) που βρίσκονται πάνω στην αναπτυξιακή πλατφόρμα και την επικοινωνία με έναν Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (Η/Υ). Η επικοινωνία της πλατφόρμας με τον Η/Υ επιτυγχάνεται μέσω της σειριακής θύρας. Ο Η/Υ προσομοιώνει τις λειτουργίες διεπαφών εξόδου (οθόνη) και εισόδου (keypad) της συσκευής.

Αισθητήρες-Ενεργοποιητές: Ο Η/Υ προσομοιώνει σε επίπεδο λογισμικού την λειτουργία των αισθητήρων και των ενεργοποιητών που σχετίζονται με την διαδικασία έγχυσης.

Λειτουργία αντλίας:



ΕΙΚΟΝΑ 1: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΕΓΧΥΣΗΣ

Για την υλοποίηση του εργαστηριακού πρωτοτύπου επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε το λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου και ανοικτού πηγαίου κώδικα «FreeRTOS», το οποίο είναι συμβατό με

τους μικροελεγκτές της NXP. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου λειτουργικού συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- φορητότητα της εφαρμογής σε διαφορετικές ενσωματωμένες πλατφόρμες. Αυτό θα μας επιτρέψει να μεταφέρουμε και αξιολογήσουμε το πρωτότυπο στους διαφορετικούς μικροελεγκτές.
- δυνατότητα ταχείας ανάπτυξης λογισμικού με χρήση επαληθευμένων βιβλιοθηκών ανοικτού κώδικα
- υποστήριξη πολλαπλών λειτουργιών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης

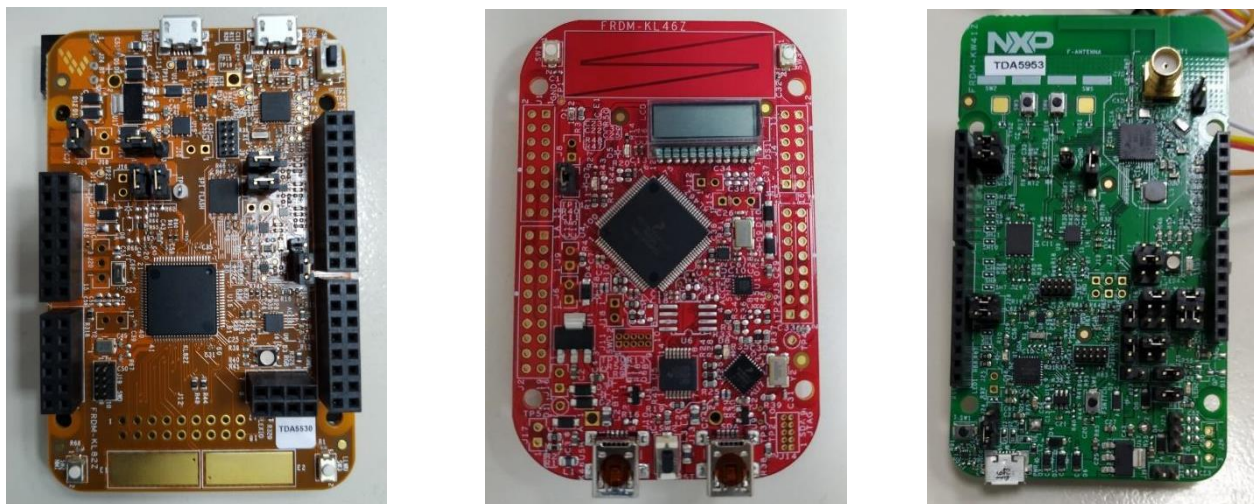
Όσον αφορά την αξιολόγηση της ασφάλειας και την ανάπτυξη μηχανισμών ασφάλειας που θα εκτελεστούν στις επόμενες ενότητες εργασίας είναι σημαντικό οι τρεις διαφορετικές εκδόσεις (διαφορετικοί μικροελεγκτές) του εργαστηριακού πρωτοτύπου να διαθέτουν μια κοινή αρχιτεκτονική. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουν να αναδειχθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τα ζητήματα ασφάλειας του κάθε μικροελεγκτή.

Η διαδικασία έγχυσης του φαρμάκου της αντλίας προσομοιώνεται με την χρήση του προγράμματος MATLAB (Simulink model). Ακολουθεί εκτενέστερη περιγραφή στην ενότητα 2.

Στη συνέχεια, περιγράφονται τα βασικά τμήματα υλικού και λογισμικού του εργαστηριακού πρωτοτύπου καθώς και ορισμένα σενάρια λειτουργίας της συσκευής. Να σημειωθεί ότι εμπλουτίσαμε τα λειτουργικά σενάρια που είχαμε προδιαγράψει στο Παραδοτέο 1.1 προσθέτοντας πιο ευέλικτους μηχανισμούς κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης, με στόχο τη διενέργεια πολύπλευρων αξιολογήσεων των πρωτοτύπων.

1.1. Υλικό του Εργαστηριακού Πρωτοτύπου

Από πλευράς υλικού, τον βασικότερο ρόλο διαδραματίζει ο επεξεργαστής/μικροελεγκτής του συστήματος καθώς πρέπει να διαθέτει την απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύ για την εκτέλεση του λειτουργικού συστήματος και της εφαρμογής της αντλίας. Επίσης, πρέπει να διαθέτει επαρκή αποθηκευτικό χώρο και να περιλαμβάνει πρωτόκολλα επικοινωνίας (ενσύρματα ή/και ασύρματα) που θα επιτρέπουν τη διασύνδεσή του με τα περιφερειακά της αντλίας και με τον Η/Υ που θα προσομοιώνει τις λειτουργίες εισόδου/εξόδου. Όσο αφορά την επιλογή του μικροελεγκτή, έχουμε καταλήξει σε τρεις περιπτώσεις που διαφοροποιούνται ως προς την απόδοση, την κατανάλωση και τις προδιαγραφές ασφάλειας. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε το σύστημα χαμηλών προδιαγραφών, το σύστημα υψηλών προδιαγραφών και το σύστημα ασύρματης σύνδεσης, που αποτελούνται αντίστοιχα από:



ΕΙΚΟΝΑ 2

- Τον μικροελεγκτή KL46Z της εταιρίας NXP και την αναπτυξιακή πλατφόρμα Freedom FRDM-KL46Z για το **σύστημα χαμηλών προδιαγραφών**.

- Τον μικροελεγκτή KL82Z της εταιρίας NXP και την αναπτυξιακή πλατφόρμα Freedom NXP FRDM-K82Z για το **σύστημα υψηλών προδιαγραφών**.
- Τον μικροελεγκτή KW41Z της εταιρίας NXP και την αναπτυξιακή πλατφόρμα Freedom NXP FRDM-KW41 για την **προσθήκη ασύρματης σύνδεσης στο σύστημα**.

1.1.1 Μικροελεγκτής & αναπτυξιακή πλατφόρμα

- Σύστημα χαμηλών προδιαγραφών (μικροελεγκτής Kinetis KL46Z – πλατφόρμα Freedom FRDM-KL46Z)

Η αναπτυξιακή πλατφόρμα KL46Z αποτελεί μια εξαιρετικά χαμηλής ισχύος επιλογή ενώ διαθέτει μια πλούσια συλλογή περιφερειακών. Ενσωματώνει έναν επεξεργαστή Cortex®-M0+ με χρονισμό έως 48MHz. Η μνήμη του συστήματος αποτελείται από μία μνήμη flash 256KB και μια μνήμη SRAM 32KB. Διαθέτει καταστάσεις λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας υπολογισμών, η οποία μειώνει τη δυναμική ισχύ, θέτοντας περιφερειακά σε λειτουργία ασύγχρονης διακοπής.

- Σύστημα υψηλών προδιαγραφών (μικροελεγκτής Kinetis KL82Z – πλατφόρμα Freedom NXP FRDM-K82Z)

Η πλατφόρμα διαθέτει τον μικροελεγκτή χαμηλής κατανάλωσης Kinetis KL82Z που ενσωματώνει έναν επεξεργαστή Arm® Cortex®-M0+ με χρονισμό μέχρι 96MHz. Το βασικό χαρακτηριστικό που τον διαφοροποιεί από τους άλλους δύο μικροελεγκτές είναι ότι διαθέτει πληθώρα μηχανισμών ασφάλειας και επιταχυντών υλικού κρυπτογραφικών αλγορίθμων (AES, DES, 3DES, SHA, RSA και ECC) χαμηλής κατανάλωσης καθώς και γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Έχει την δυνατότητα υποστήριξης πρωτοκόλλων I2C, SPI, LPUART, GPIO και διαθέτει 128 KB μνήμης flash και 96 KB μνήμης SRAM.

- Σύστημα ασύρματης σύνδεσης (μικροελεγκτής Kinetis KW41Z – Freedom NXP FRDM-KW41)

Η πλατφόρμα KW41Z αποτελεί μια επιλογή χαμηλής ισχύος, που επιτρέπει την συνδεσιμότητα μέσω Bluetooth® Low Energy v4.2 και IEEE® 802.15.4 RF και είναι ιδανική για φορητά, χαμηλής ισχύος ενσωματωμένα συστήματα. Η πλατφόρμα KW41Z ενσωματώνει έναν επεξεργαστή Arm® Cortex®-M0+ με χρονισμό μέχρι 48MHz. Όσον αφορά τη μνήμη του συστήματος διαθέτει μια μνήμη flash 512KB και μία μνήμη SRAM 128KB. Σε επίπεδο συνδεσιμότητας υλικού, υποστηρίζει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας I2C, SPI, LPUART και GPIO. Σε επίπεδο ασφάλειας, διαθέτει έναν επιταχυντή υλικού AES-128 και μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών (True Random Number Generator).

Στους παρακάτω πίνακες συγκρίνονται οι τρεις μικροελεγκτές με βάση τις προδιαγραφές κατανάλωσης, ταχύτητας λειτουργίας και χωρητικότητας αποθήκευσης (Πίνακας 1) και τις προδιαγραφές ασφάλειας (Πίνακας 2).

	NXP Semiconductors		
MCU	KL46Z ¹	KL82Z ²	KW41Z ³
Μοντέλο CPU	ARM Cortex-M0+	ARM Cortex-M0+	ARM Cortex-M0+
Συχνότητα CPU	4-48 MHz	4-96 MHz	4-48 MHz

¹ <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/KL46P121M48SF4.pdf>

² <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/KL82P121M72SF0.pdf>

³ <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MKW41Z512.pdf>

Κατανάλωση ενέργειας σε ενεργή κατάσταση (run mode)	5.45-6.9mA @48 MHz	6.3-9.1mA @48 MHz	4.6-7.79mA @48 MHz
Κατανάλωση ενέργειας σε ανενεργή κατάσταση (disable mode)	2.71-306μΑ	5.82-273μΑ	18-294μΑ
Μνήμη flash	256 KB	128 KB	512KB
Μνήμη SRAM	32 KB	96 KB	128KB
Συνδεσιμότητα	USB, I ² C, GPIO, UART, LPUART SPI, I ² S, FlexIO	USB, I ² C LPUART, GPIO, TSI FlexIO	I ² C, SPI, LPUART, TSI, CMT, GPIO
Ασύρματη Συνδεσιμότητα	-	-	BLE v4, IEEE® 802.15.4 RF (ZigBee, Thread)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ COTS ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ, ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ

	NXP Semiconductors		
MCU	KL46Z	KL82Z	KW41Z
Secure Boot		✓ *	
Device Identity/Keys	✓	✓	✓
Cryptographic Acceleration		✓	✓
Debugging Security		✓ *	✓ *
Trusted Execution Environment	✓	✓ *	✓
Secure Storage		✓ *	✓
Physical Security		✓	

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ COTS ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΥΝ

* Στις περιπτώσεις που έχουν επισημανθεί με αστερίσκο (*) δεν δηλώνεται σαφώς στα φύλλα δεδομένων του μικροεπεξεργαστή ότι υποστηρίζεται ο συγκεκριμένος μηχανισμός ασφάλειας αλλά έχει προκύψει από την μελέτη της αρχιτεκτονικής του.

Συνοψίζοντας, ο μικροελεγκτής KL46Z αποτελεί μια λύση εξαιρετικά χαμηλής κατανάλωσης ο οποίος ξεχωρίζει εξαιτίας των διεπαφών ανθρώπου-μηχανής που διαθέτει, αλλά δεν διαθέτει δυνατότητες ασύρματης συνδεσιμότητας, ούτε προηγμένους μηχανισμούς ασφάλειας. Ο KW41Z χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση και από πληθώρα ασυρμάτων πρωτοκόλλων χαμηλής κατανάλωσης καθώς και από ένα επιταχυντή υλικού κρυπτογραφικού αλγορίθμου (AES-128bit) και μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Τέλος, ο μικροελεγκτής KL82 εξειδικεύεται σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων ασφάλειας, διαθέτει μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ αλλά δεν συμπεριλαμβάνει πρωτόκολλα ασύρματης συνδεσιμότητας.

1.1.2 Αναπτυξιακή πλακέτα RFID

Μια από τις απαραίτητες λειτουργίες του εργαστηριακού πρωτοτύπου είναι η ύπαρξη ενός μηχανισμού ασφαλούς αυθεντικοποίησης. Σύμφωνα με το Παραδοτέο Π1.1, μια από τις βασικές μεθόδους αυθεντικοποίησης και ενημέρωσης δοσολογιών και συνταγών της αντλίας έγχυσης της Micrel εκτελείται μέσω μιας διασύνδεσης RFID, η οποία επιτρέπει την ανάγνωση ετικετών και έξυπνων καρτών RFID. Αυτή η προδιαγραφή μας οδήγησε στο να επεκτείνουμε την συνδεσιμότητα του εργαστηριακού πρωτοτύπου με την υλοποίηση ενός συστήματος ταυτοποίησης, ανάγνωσης και ενημέρωσης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification – RFID), η οποία δίνει τη δυνατότητα στο πρωτότυπο να επικοινωνεί με ετικέτες και έξυπνες κάρτες (smart cards). Για να προσθέσουμε την δυνατότητα επικοινωνίας μέσω RFID επιλέξαμε το προϊόν RC522 της εταιρείας MIFARE (Εικόνα 2) η οποία αποτελεί θυγατρική της NXP και ειδικεύεται σε ασύρματες έξυπνες κάρτες και κάρτες εγγύτητας. Το RC522 αποτελεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ασύρματης επικοινωνίας (reader/writer) και λειτουργεί στα 13.56MHz. Υποστηρίζει έναν γρήγορο αλγόριθμο κρυπτογράφησης CRYPTO1 και εφαρμόζει το πρότυπο ISO14443A. Το RC522 υποστηρίζει τη σειρά επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας της MIFARE χωρίς επαφή και αμφίδρομο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 424kbit/s. Η πλατφόρμα αυτή είναι συνδεδεμένη με το βασικό σύστημα μέσω του πρωτοκόλλου SPI.



ΕΙΚΟΝΑ 2: RC522 ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ MIFARE

1.2. Λογισμικό και Λειτουργικότητα του Εργαστηριακού πρωτοτύπου

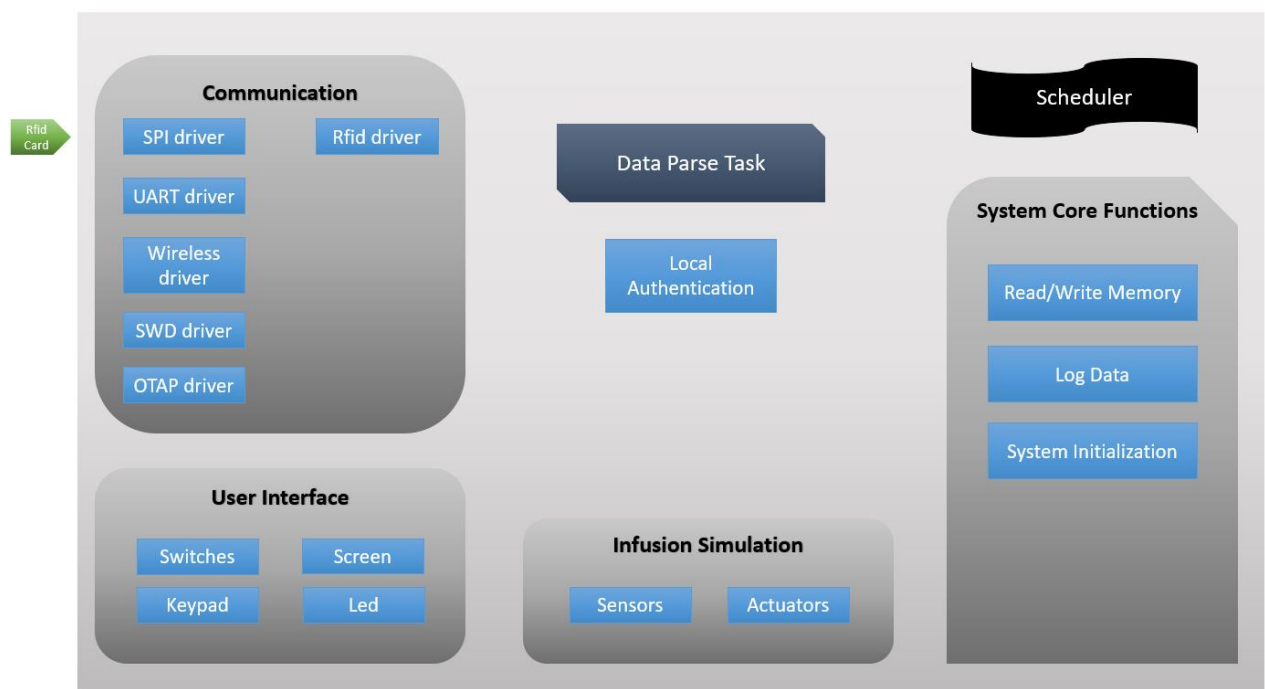
Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται το ενσωματωμένο λογισμικό του εργαστηριακού πρωτοτύπου. Το σύστημά μας έχει αναπτυχθεί με βάση τις αρχές του ανοικτού κώδικα και της ανοικτής αρχιτεκτονικής, ούτως ώστε να περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες βιβλιοθήκες για την αξιολόγηση των βασικών μηχανισμών ασφάλειάς του αλλά και να επιτρέπει την ενσωμάτωση νέων λειτουργιών στα επόμενα στάδια του έργου ώστε να αξιολογηθούν από πλευράς ασφάλειας.

Κεντρικό ρόλο για την διαχείριση των πόρων του υλικού και την εκτέλεση του λογισμικού της αντλίας έγχυσης ενέχει το λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου (Real Time Operating System - RTOS). Για αυτόν τον σκοπό, επιλέξαμε το λειτουργικό σύστημα FreeRTOS. Η επιλογή μας βασίστηκε στο γεγονός ότι το FreeRTOS αποτελεί μια σύγχρονη λύση RTOS ανοικτού κώδικα που παρέχει πολλαπλές δυνατότητες στην διαχείριση του υλικού και των διεργασιών και παρέχοντας τα πλεονεκτήματα της φορητότητας της εφαρμογής και της ταχείας ανάπτυξης του λογισμικού.

Οι βασικές λειτουργίες του ενσωματωμένου λογισμικού του εργαστηριακού πρωτοτύπου είναι οι εξής:

- Αρχικοποίηση του συστήματος μέσω του περιβάλλοντος διαμόρφωσης που διαθέτει η κατασκευάστρια εταιρία (NXP). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την πλήρη διαμόρφωση του υλικού και την εγγραφή δεδομένων (τιμών αρχικοποίησης) στη μνήμη του συστήματος.
- Εγγραφή δεδομένων στην μνήμη του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να εγγράφονται είτε κατά την αρχικοποίηση του λογισμικού είτε μέσω του πρωτοκόλλου RFID με τη χρήση μιας εξωτερικής έξυπνης κάρτας.
- Εγγραφή πληροφορίας σε εξωτερική έξυπνη κάρτα μέσω του πρωτοκόλλου RFID
- Καταγραφή και ανάγνωση ιστορικού χρήσης (όπου αυτό έχει ορισθεί) ανάλογα την εξουσιοδότηση του εκάστοτε χρήστη
- Έλεγχος κρίσιμων για το σύστημα μεταβλητών (δοσολογία φαρμάκων) σύμφωνα με προκαθορισμένες και αποθηκευμένες στη μνήμη τιμές.
- Επιλογή και εκκίνηση διεργασίας (θεραπείας) μέσω της διεπαφής χρήστη-συσκευής
- Αυθεντικοποίηση σε διαφορετικά επίπεδα, είτε σε επίπεδο πρωτοκόλλου επικοινωνίας RFID είτε τοπικά βασιζόμενη σε αρχικοποιημένες από το σύστημα τιμές.

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά το ενσωματωμένο λογισμικό του συστήματος, ένα συνοπτικό διάγραμμα του οποίου απεικονίζεται στην Εικόνα 3.



ΕΙΚΟΝΑ 3: ΣΥΝΟΠΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το λογισμικό του συστήματος σε επίπεδο επικοινωνίας διαθέτει τα εξής:

- **SPI driver:** Ο οδηγός αυτός ενσωματώνει τις συναρτήσεις του πρωτοκόλλου Serial Peripheral Interface (SPI). Χρησιμοποιείται κυρίως για την επικοινωνία της κύριας αναπτυξιακής πλακέτας (Freedom board) με την πλακέτα που ενσωματώνει τον RFID reader (MIFARE).
 - **SpIWrite():** Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την εγγραφή πληροφορίας μέσω του πρωτοκόλλου SPI. Είναι προσαρμοσμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει την υλοποίηση της βιβλιοθήκης MFRC522.
- **Uart driver:** ο οδηγός αυτός ενσωματώνει τις συναρτήσεις του πρωτοκόλλου επικοινωνίας universal asynchronous receiver/transmitter (UART). Στο σύστημά μας χρησιμοποιείται κυρίως για την προσομοίωση της διεπαφής χρήστη-συσκευής: είτε για να προσομοιώσει μια συσκευή εισόδου (π.χ. ένα keypad μέσω ενός τερματικού) είτε για να προσομοιώσει μια συσκευή εξόδου (π.χ. μια οθόνη).

- **uart_task:** Διεργασία ελέγχου της θύρας Uart. Μέρος της διεργασίας αποτελούν οι συναρτήσεις *LPUART_RTOS_Send* (για την εμφάνιση μηνυμάτων προς στο χρήστη) και η *LPUART_RTOS_Receive* (για την λήψη πληροφοριών από τον χρήστη).
- **Wireless communication driver:** Ο οδηγός αυτός είναι υπεύθυνος για την ασύρματη επικοινωνία της πλακέτας.
- **SWD driver:** Ο οδηγός αυτός ενσωματώνει τις συναρτήσεις του πρωτοκόλλου Serial Wire Debug (SWD) που χρησιμοποιείται για την απευθείας σύνδεση του περιβάλλοντος ανάπτυξης/αποσφαλμάτωσης με την αναπτυξιακή πλατφόρμα.
- **OTAP driver:** Ο οδηγός αυτός επιτρέπει την υλοποίηση της μεθόδου ενημέρωσης του λογισμικού OTAP (Over The Air Programming).
- **RFID driver:** Ο οδηγός αυτός ενσωματώνει τις συναρτήσεις επικοινωνίας της συσκευής με την πλακέτα RFID reader. Βασίζεται στις συναρτήσεις της βιβλιοθήκης του MIFARE RC522 που προσαρμόστηκαν στις απαιτήσεις του εργαστηριακού πρωτοτύπου.
 - **readCard():** Βασική συνάρτηση επικοινωνίας (ανάγνωσης δεδομένων) του συστήματος μέσω του πρωτοκόλλου RFID με τη χρήση της βιβλιοθήκης MFRC522.
 - **writeCard():** Συνάρτηση εγγραφής δεδομένων στην έξυπνη κάρτα μέσω του πρωτοκόλλου RFID. Αποτελεί βοηθητική συνάρτηση του συστήματος και εξυπηρετεί την εκτέλεση δοκιμαστικών σεναρίων.
 - **MFRC522:** Βιβλιοθήκη της MIFARE που παρέχει πολλαπλές λειτουργίες για το πρωτόκολλο RFID. Οι βασικές συναρτήσεις της βιβλιοθήκης που χρησιμοποιούμε σε κάθε επικοινωνία με την έξυπνη κάρτα είναι οι εξής:
 - MFRC522_PCD_Reset: Επαναφορά αρχικών τιμών των μεταβλητών της βιβλιοθήκης MFRC522
 - MFRC522_PCD_Init: Αρχικοποίηση τιμών των μεταβλητών της βιβλιοθήκης MFRC522
 - MFRC522_PICC_IsNewCardPresent: Ανίχνευση έξυπνης κάρτας στην επιφάνεια ανάγνωσης του RFID reader
 - MFRC522_PICC_ReadCardSerial: Ανάγνωση σειριακού αριθμού της έξυπνης κάρτας
 - MFRC522_PCD_Authenticate: Αυθεντικοποίηση ενός τμήματος της έξυπνης κάρτας
 - MFRC522_MIFARE_Read: Ανάγνωση πληροφορίας του αυθεντικοποιημένου τμήματος της μνήμης της έξυπνης κάρτας.
 - MFRC522_MIFARE_Write: Εγγραφή πληροφορίας στο αυθεντικοποιημένο τμήμα της μνήμης της έξυπνης κάρτας.
 - Οι παραπάνω συναρτήσεις ενσωματώνουν τις εξής συναρτήσεις χαμηλότερου επιπέδου:
 - MFRC522_PCD_ReadRegister
 - MFRC522_PCD_ReadRegisterBlock
 - MFRC522_PCD_WriteRegister
 - MFRC522_PCD_WriteRegisterBlock
 - **drugList:** Βοηθητικός κώδικας με τον οποίο έχουμε τη δυνατότητα θέτοντας την μεταβλητή wCard στην τιμή 1, να γράψουμε πληροφορία στην έξυπνη κάρτα μέσω πρωτοκόλλου RFID. Η πληροφορία που εγγράφεται είναι 4 bytes και προσδιορίζει την ταυτότητα του χρήστη, τα ονόματα και τις δοσολογίες των φαρμάκων. Αυτές οι πληροφορίες θα χρησιμοποιηθούν για τις δοκιμές του συστήματός μας.

Το λογισμικό του συστήματος σε επίπεδο διεπαφής χρήστη ελέγχει τις παρακάτω συσκευές εισόδου/εξόδου:

- **Switches:** Δύο πιεστικοί διακόπτες (buttons) που βρίσκονται πάνω στην αναπτυξιακή πλακέτα.

- **Display:** Η οθόνη του συστήματος που προσομοιώνεται μέσω της κονσόλας του MATLAB. Η επικοινωνία του συστήματος με την οθόνη προσομοίωσης υλοποιείται μέσω της θύρας UART.
- **Keypad:** Το πληκτρολόγιο με το οποίο ο χρήστης εισάγει πληροφορία στο σύστημά προσομοιώνεται μέσω της κονσόλας του MATLAB. Η επικοινωνία του συστήματος με το πληκτρολόγιο υλοποιείται μέσω της θύρας UART.
- **Led:** Λαμπτήρας τύπου led που βρίσκεται πάνω στην αναπτυξιακή πλακέτα. Χρησιμοποιείται ως ένδειξη ότι το σύστημα είναι ενεργό.
 - **LED_RED_ON/OFF:** Συνάρτηση που ελέγχει το Led.

Το λογισμικό του συστήματος σε επίπεδο ελέγχου (εξομοίωσης) των αισθητήρων (sensors) και ενεργοποιητών (actuators) που ρυθμίζουν την λειτουργία έγχυσης της αντλίας περιέχει τις εξής συναρτήσεις:

- **startInfusion():** Προσομοιώνει την λειτουργία έγχυσης της αντλίας. Η προσομοίωση επιτυγχάνεται με την εκτέλεση ενός προγράμματος MATLAB και θα παρουσιαστεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο. Κατά τη διάρκεια της εικονικής έγχυσης εμφανίζονται ανάλογα μηνύματα στον χρήστη και καταγράφεται η έγχυση στο ιστορικό του συστήματος.

Οι βασικές λειτουργίες του συστήματος χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Συναρτήσεις αρχικοποίησης του συστήματος (System Initialization):
 - **Interrupt_set():** Αρχικοποιεί τον πιεστικό διακόπτη ως σήμα ενεργοποίησης του συστήματος.
 - **LED_RED_INIT():** Αρχικοποιεί το λαμπάκι (led) ως σήμα ένδειξης ενεργοποίησης. Το Led ενεργοποιείται για τρία δευτερόλεπτα με το πάτημα του διακόπτη της συσκευής ως ένδειξη ότι το σύστημα «ξυπνά» και ότι ανιχνεύει την ύπαρξη έξυπνης κάρτας.
 - **UartInit():** Αρχικοποιεί τις παραμέτρους που σχετίζονται με το πρωτόκολλο επικοινωνίας UART.
 - **SpiInit():** Αρχικοποιεί τις παραμέτρους που σχετίζονται με το πρωτόκολλο επικοινωνίας SPI.
- Συνάρτηση καταγραφής δεδομένων (Data Logger): Αποθηκεύει στη στατική μνήμη (flash) πληροφορίες που σχετίζονται με τη λειτουργία της συσκευής.
- Συναρτήσεις ανάγνωσης/εγγραφής στην μνήμη (Read/Write Memory):
 - **Flash():** Αποτελεί την συνάρτηση με την οποία δίνεται η δυνατότητα διαχείρισης της μνήμης του συστήματος και παρέχει τις εξής λειτουργίες:
 - Έλεγχος μεγέθους μνήμης
 - Έλεγχος ασφάλειας της μνήμης
 - Διαγραφή/εγγραφή μνήμης και μηχανισμούς επιβεβαίωσης των ενεργειών.

Local authentication: Η διαδικασία της αυθεντικοποίησης σε επίπεδο συσκευής επιτυγχάνεται μέσω της πληροφορίας που εισάγεται από την έξυπνη κάρτα μέσω του πρωτοκόλλου RFID. Σε πρώτη φάση, ο έλεγχος της ταυτοποίησης του κάθε χρήστη βασίζεται σε 4 bytes. Αυτός ο μηχανισμός ενδέχεται να τροποποιηθεί σε επόμενα στάδια του έργου και να αξιολογηθούν πιο προηγμένοι μηχανισμοί αυθεντικοποίησης.

Scheduler: αποτελεί κομμάτι του λειτουργικού συστήματος (FreeRTOS) και διαχειρίζεται την χρονοδρομολόγηση των διεργασιών του συστήματος.

Data Parse Task: Εμπεριέχει την συνάρτηση **Parser()** που «ξυπνάει» από το σήμα ενεργοποίησης του συστήματος και είναι υπεύθυνη για το πως θα κατευθύνει το σύστημά μας σύμφωνα με το είδος της πληροφορίας που εισάγουμε. Αποτελεί τον πρώτο έλεγχο

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις βασικές λειτουργίες και τις επιμέρους διεργασίες του εργαστηριακού πρωτοτύπου και τις συναρτήσεις που αναπτύχθηκαν για την υλοποίησή τους.

Βασικές λειτουργίες	Λειτουργία εργαστηριακού πρωτοτύπου	Συναρτήσεις υλοποίησης
Συντήρηση συστήματος	Βαθμονόμηση συστήματος	
	Μεταφόρτωση πληροφορίας στη μνήμη του συστήματος	Flash()
	Διαμόρφωση συστήματος	Interrupt_set() UartInit() SpiInit() LED_RED_INIT()
	Παρακολούθηση πληροφορίας συστήματος	
Αυτοέλεγχος συστήματος	Αυτοέλεγχος συστήματος βασιζόμενος σε πληροφορίες αποθηκευμένες στη μνήμη	readCard() (έλεγχος δοσολογίας φαρμάκου κατά την εισαγωγή και εγγραφή στη μνήμη του συστήματος)
	Αυτοέλεγχος συστήματος βασιζόμενος σε πληροφορίες που προέρχονται από τους αισθητήρες του συστήματος	MATLAB script
Λειτουργίες Αντλίας	Διαμόρφωση παραμέτρων χρήστη	
	Ενεργοποίηση μηχανισμού έγχυσης	startInfusion()
	Καταγραφή δεδομένων συστήματος (ιστορικό λειτουργίας, δεδομένα από αισθητήρες) στην μονάδα αποθήκευσης	Log Data () history_log()
	Ανάγνωση δεδομένων συστήματος (κατάσταση συσκευής, δεδομένα από αισθητήρες)	Flash()

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ

2. Προσομοίωση Έγχυσης με χρήση Matlab

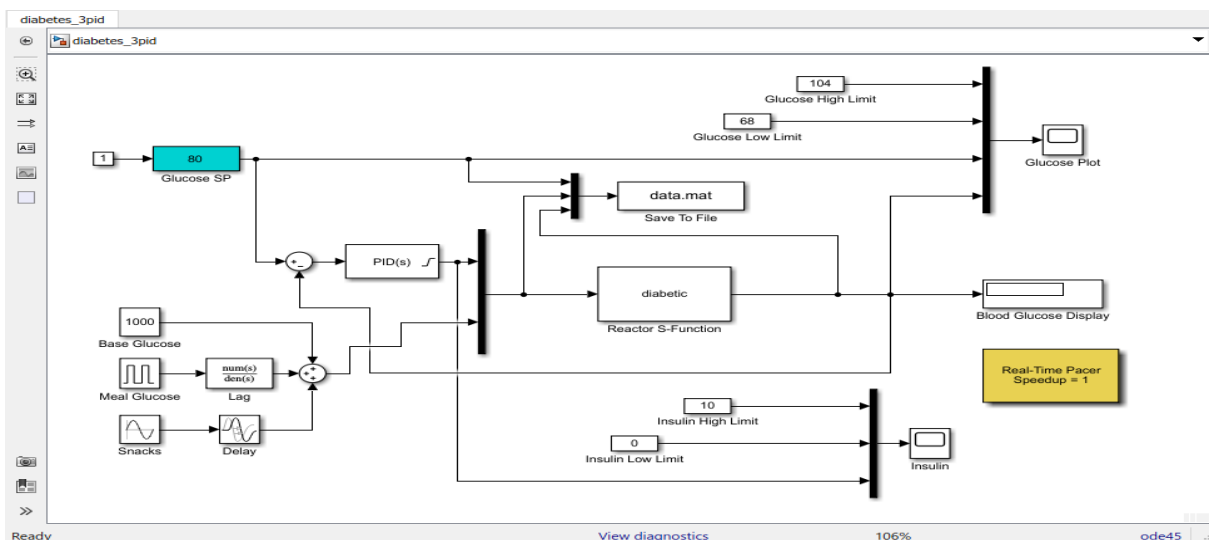
Το εργαστηριακό πρωτότυπο περιλαμβάνει ένα μοντέλο προσομοίωσης των διεργασιών της έκχυσης ινσουλίνης καθώς και της επίδρασης στα επίπεδα γλυκόζης του οργανισμού του ασθενούς [1]. Το μοντέλο δέχεται ως είσοδο τις ακόλουθες παραμέτρους και τιμές ελέγχου:

1. Glucose Set Point (Glucose SP): Αποτελεί την επιθυμητή τιμή γλυκόζης που πρέπει να διατηρεί ο ασθενής [mg/dl] και την οποία ρυθμίζει η αντλία έκχυσης.
2. Μέγιστο επιτρεπτό όριο γλυκόζης (Glucose High Limit) [mg/dl]
3. Ελάχιστο επιτρεπτό όριο γλυκόζης (Glucose Low Limit) [mg/dl]
4. Μέγιστο επιτρεπτό όριο ινσουλίνης (Insulin High Limit) [μU/min]
5. Ελάχιστο επιτρεπτό όριο ινσουλίνης (Insulin Low Limit) [μU/min]
6. Στοιχεία για την παραγωγή γλυκόζης στον οργανισμό μέσω του καθορισμού γευμάτων και των επιπέδων γλυκόζης του οργανισμού χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η χορήγηση ινσουλίνης.

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους, το μοντέλο αναλαμβάνει να υπολογίσει την γλυκόζη του οργανισμού. Με αυτόν τον τρόπο προσομοιώνεται η λειτουργία ενός αισθητήρα γλυκόζης (Glucose Sensor) του αίματος. Επιπλέον, το μοντέλο διαθέτει έναν PID controller ο οποίος αναλαμβάνει να ρυθμίσει τα επίπεδα γλυκόζης, ανάλογα με το Glucose Set Point που έχει οριστεί και τα καθορισμένα γεύματα, λαμβάνοντας υπόψιν τα επιτρεπτά όρια που έχουν εισαχθεί κατά την αρχικοποίηση του συστήματος. Ο PID controller καθορίζει την απαιτούμενη ποσότητα ινσουλίνης που η αντλία θα χορηγήσει στον ασθενή για την επίτευξη του Set Point. Με αυτόν τον τρόπο προσομοιώνεται ο Ενεργοποιητής (actuator) της αντλίας έκχυσης.

Το ενσωματωμένο σύστημα του εργαστηριακού πρωτοτύπου επικοινωνεί μέσω της θύρας UART με το μοντέλο του MATLAB ώστε να εκκινήσει τη λειτουργία της αντλίας. Κατά τη λειτουργία της αντλίας, το μοντέλο MATLAB στέλνει τα δεδομένα της προσομοίωσης (Glucose Blood Display) στην συσκευή. Με αυτό τον τρόπο το μοντέλο ενσωματώνεται στο εργαστηριακό πρωτότυπο.

Στην Εικόνα 4 απεικονίζεται το μοντέλο στο MATLAB (Simulink), όπου φαίνονται οι παράμετροι και τα συστατικά του μοντέλου καθώς και ο PID controller.

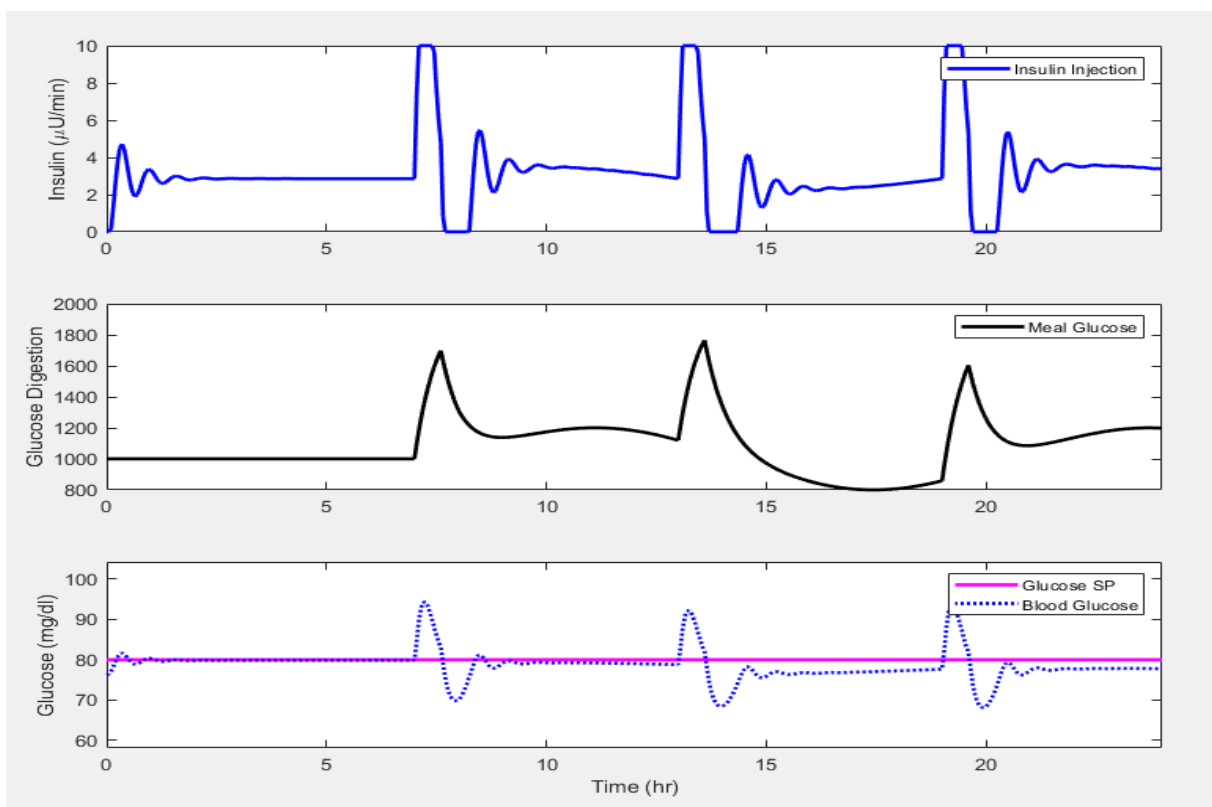


ΕΙΚΟΝΑ 4: ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ MATLAB (SIMULINK)

[1]<https://nl.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/48019-blood-glucose-regulation-in-a-type-i-diabetic-in-simulink?focused=3842674&tab=function>

Στην Εικόνα 5 απεικονίζεται ένα διάγραμμα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου, όπου φαίνονται οι εξής καμπύλες:

- **Insulin injection:** Η μπλε καμπύλη αναπαριστά την δοσολογία της ινσουλίνης που χορηγήθηκε στον ασθενή κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας.
- **Meal Glucose:** Η μαύρη καμπύλη αναπαριστά την γλυκόζη την οποία επηρέασαν τα γεύματα που καταναλώθηκαν από τον ασθενή κατά τη διάρκεια της έκχυσης.
- **Glucose SP:** Η ροζ γραμμή απεικονίζει την τιμή της επιθυμητής γλυκόζης που έχουμε δώσει σαν είσοδο στο σύστημά μας.
- **Blood Glucose:** Η διακεκομμένη μπλε γραμμή αναπαριστά την ένδειξη του αισθητήρα για την γλυκόζη στο αίμα του ασθενή κατά τη διάρκεια της έκχυσης.



ΕΙΚΟΝΑ 5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΓΧΥΣΗΣ

3. Παρουσίαση δοκιμαστικών σεναρίων

Σε αυτήν την ενότητα περιγράφεται η λειτουργικότητα του συστήματος με βάση τις προδιαγραφές του εργαστηριακού πρωτοτύπου όπως είχαν προσδιοριστεί στο παραδοτέο Π1.1. Τα τέσσερα αντιπροσωπευτικά σενάρια λειτουργίας είναι τα ακόλουθα:

- **Σενάριο 1:** Ο τεχνικός αποκτά πρόσβαση στη μνήμη του συστήματος μέσω debugging port.
- **Σενάριο 2:** Ο χρήστης εκκινεί διαδικασία έγχυσης.
- **Σενάριο 3:** Ο χρήστης εισάγει ένα πρωτόκολλο έκχυσης στη μνήμη του συστήματος μέσω RFID.
- **Σενάριο 4:** Ο χρήστης μέσω του Micrelcare server παρακολουθεί στοιχεία μιας τρέχουσας θεραπείας.

Η τρέχουσα έκδοση του εργαστηριακού πρωτοτύπου υποστηρίζει τα σενάρια 1, 2 και 3. Ως προς το σενάριο 4, το εργαστηριακό πρωτότυπο υποστηρίζει πολλαπλές μεθόδους ασύρματης συνδεσιμότητας (BLE, 802.15.4, Zigbee) και είναι δυνατή η σύνδεση του εργαστηριακού πρωτοτύπου με έναν Η/Υ που θα προσομοιώνει τον Micrelcare server. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν εκτενέστερα τα σενάρια 1, 2 και 3.

Σενάριο 1: Ο τεχνικός αποκτά πρόσβαση στη μνήμη του συστήματος μέσω debugging port

1. Χρήση του προτεινόμενου από την κατασκευάστρια εταιρία (NXP) περιβάλλοντος ανάπτυξης (MCUXpresso IDE).
2. Σύνδεση με χρήση καλωδίου (micro Usb) στην αναπτυξιακή πλατφόρμα
3. Χρήση της διαθέσιμης debugging κονσόλας του περιβάλλοντος ανάπτυξης

Σενάριο 2: Ο χρήστης εκκινεί διαδικασία έγχυσης.

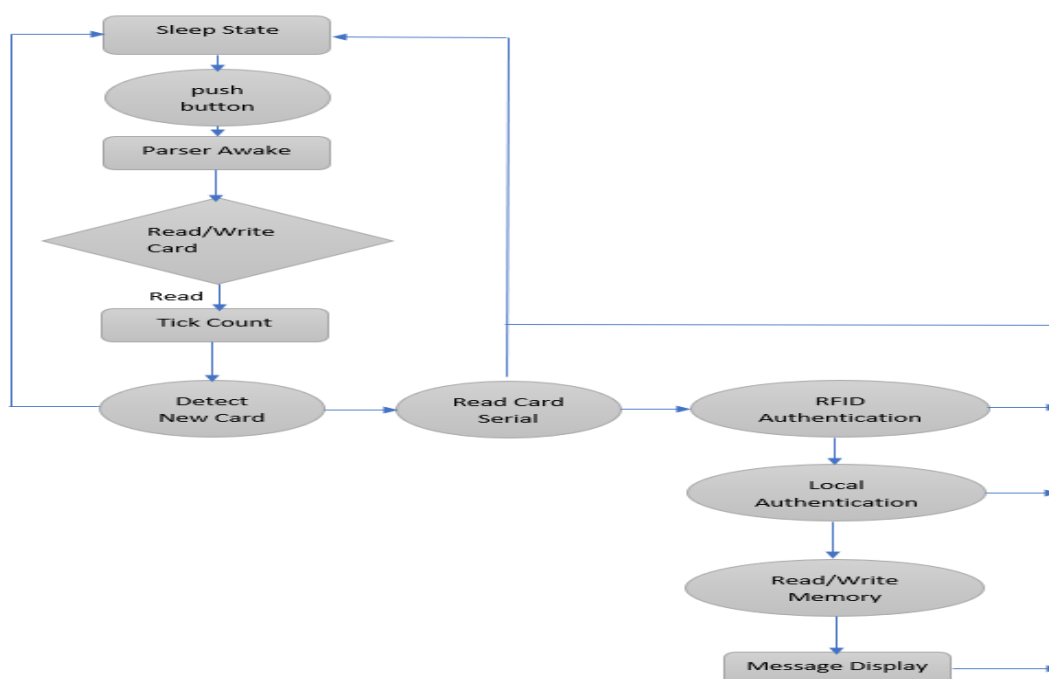
1. Αρχικά το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου
2. Με το πάτημα του διακόπτη ενεργοποίησης της πλατφόρμας, το σύστημα λαμβάνει ένα σήμα διακοπής (interrupt) και «ξυπνά».
3. Ανάλογα με την ρύθμιση που έχει επιλεγεί κατά την αρχικοποίηση, το σύστημα διαβάζει ή γράφει την κάρτα. Στο σενάριο που εξετάζουμε το σύστημα διαβάζει την κάρτα.
4. Από την στιγμή ενεργοποίησης του συστήματος, η επόμενη διεργασία εκτελείται για περίπου 3 δευτερόλεπτα. Σε αυτή τη διάρκεια, αν ανιχνεύσει νέα κάρτα στην επιφάνεια του RFID reader προχωράει στην επόμενη διεργασία. Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα επιστρέφει σε κατάσταση ύπνου.
5. Στην επόμενη διεργασία το σύστημα χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη MFRC522 για να διαβάσει το κλειδί της έξυπνης κάρτας μέσω του πρωτοκόλλου SPI.
6. Στη συνέχεια αυθεντικοποιείται η έξυπνη κάρτα και το τμήμα της που περιέχει την προς ανάγνωση πληροφορία με χρήση προκαθορισμένων (συμμετρικών) κλειδιών.
7. Με την πληροφορία που έχει διαβάσει από την κάρτα, το σύστημα αυθεντικοποιεί τοπικά τον χρήστη και παρουσιάζει στο σειριακό τερματικό ένα μήνυμα με τις δυνατές επιλογές. Ο απλός χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τις αποθηκευμένες θεραπείες και να επιλέξει μια εξ αυτών.
8. Έπειτα, εάν ο χρήστης επιλέξει την εκκίνηση μιας έγχυσης, το σύστημα καλεί την διεργασία που προσομοιώνει την έγχυση και την καταγράφει στο ιστορικό του συστήματος.
9. Το σύστημα στέλνει ένα σήμα ενεργοποίησης στο MATLAB στο οποίο τρέχει το script που προσομοιώνει τη διαδικασία καθώς και την καταγραφή των αποτελεσμάτων της έγχυσης.
10. Στη συνέχεια, εμφανίζεται στο σειριακό τερματικό ένα μήνυμα επιβεβαίωσης επιτυχούς ολοκλήρωσης της έγχυσης.

Εάν σε οποιαδήποτε από τις καταστάσεις 5 έως 8 δεν πραγματοποιηθεί με επιτυχία η διεργασία, το σύστημα επιστρέφει σε κατάσταση ύπνου.

Σενάριο 3: Ο χρήστης εισάγει ένα πρωτόκολλο έκχυσης στη μνήμη του συστήματος μέσω RFID. Το παρακάτω διάγραμμα ροής (εικόνα 6) περιγράφει ένα δοκιμαστικό σενάριο κατά το οποίο ο χρήστης (γιατρός) αυθεντικοποιείται στο σύστημα και έχει τη δυνατότητα να αλλάξει δεδομένα (συνταγές φαρμάκων) στη μνήμη του συστήματος.

1. Αρχικά, το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου
2. Με το πάτημα του διακόπτη ενεργοποίησης της πλατφόρμας, το σύστημα λαμβάνει ένα σήμα διακοπής (interrupt) και «ξυπνά».
3. Ανάλογα με την ρύθμιση που έχει επιλεγεί κατά την αρχικοποίηση, το σύστημα διαβάζει ή γράφει την κάρτα. Στο σενάριο που εξετάζουμε το σύστημα διαβάζει την κάρτα.
4. Από την στιγμή ενεργοποίησης του συστήματος, η επόμενη διεργασία εκτελείται για περίπου 3 δευτερόλεπτα. Σε αυτή τη διάρκεια, αν ανιχνεύσει νέα κάρτα στην επιφάνεια του RFID reader προχωράει στην επόμενη διεργασία. Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα επιστρέφει σε κατάσταση ύπνου.
5. Στην επόμενη διεργασία το σύστημα χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη MFRC522 για να διαβάσει το κλειδί της έξυπνης κάρτας μέσω του πρωτοκόλλου SPI.
6. Στη συνέχεια αυθεντικοποιείται η έξυπνη κάρτα και το τμήμα της που περιέχει την προς ανάγνωση πληροφορία με χρήση προκαθορισμένων (συμμετρικών) κλειδιών.
7. Με την πληροφορία που έχει διαβάσει από την κάρτα, το σύστημα αυθεντικοποιεί τοπικά τον χρήστη και παρουσιάζει στο σειριακό τερματικό ένα μήνυμα με τις δυνατές επιλογές. Για παράδειγμα, ο χρήστης γιατρός μπορεί να αλλάξει τις δοσολογίες στις θεραπείες καθώς και να διαβάσει το ιστορικό της συσκευής.
8. Σε περίπτωση που ο χρήστης το επιλέξει, τα δεδομένα εγγράφονται στη μνήμη του συστήματος και σε περίπτωση επιτυχημένης εγγραφής εμφανίζεται το ανάλογο μήνυμα. Παράλληλα, τα δεδομένα που πρόκειται να εγγραφούν στη μνήμη ελέγχονται ότι αντιστοιχούν σε επιτρεπτές τιμές (π.χ. μια νέα δοσολογία ελέγχεται ότι βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων του εκάστοτε φαρμάκου).

Εάν σε οποιαδήποτε από τις καταστάσεις 5 έως 8 δεν πραγματοποιηθεί με επιτυχία η διεργασία, το σύστημα επιστρέφει σε κατάσταση ύπνου.



ΕΙΚΟΝΑ 6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Οπισθόφυλλο

«Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-01958)»

This research has been co-financed by the European Union and Greek national funds through the Operational Program Competitiveness, Entrepreneurship and Innovation, under the call RESEARCH – CREATE – INNOVATE (project code:T1EDK-01958)