

Δράση 2: Ανάπτυξη του προϊόντος

Δ.2.2: Τεχνικός Σχεδιασμός - Υλοποίηση ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ: Π.Δ 2.2.3

**ΤΙΤΛΟΣ: Π.Δ 2.2.3 Έκθεση Εύρους και Τελικής Υλοποίησης
Διασυνδέσεων**

ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ: MediBRAIN



ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΡΓΟΥ

116911

Ιούνιος 2025



«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ», ΑΞΟΝΑΣ 2.3- “Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων”.
Δράση 16706 - “Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων”.

για το έργο: «**MediBRAIN - Ανάπτυξη Συστήματος υποστήριξης προσωπικών αποφάσεων, με χρήση των εργαλείων της Τεχνητής Νοημοσύνης**» με κωδικό 116911 στο πλαίσιο της δράσης «**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ**» ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ 2.3 “Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων”, της Δράσης 16706 “Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων”, του Εθνικού Σχεδίου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας Ελλάδα 2.0.

Ημερομηνία Έναρξης του Έργου: 1η Νοεμβρίου 2023

Ημερομηνία Παράδοσης του Παραδοτέου Π.Δ 2.2.3: 30 Ιουνίου 2025

Ημερομηνία Λήξης του έργου: 31 Οκτωβρίου 2025

Δράσεις:

Δ 2.2 [Τεχνικός Σχεδιασμός - Υλοποίηση] (Υπεύθυνος Φορέας: CSSA)

Παραδοτέο: Π.Δ 2.2.3

Τίτλος Παραδοτέου: [Έκθεση Εύρους και Τελικής Υλοποίησης Διασυνδέσεων]

Υπεύθυνος φορέας: CSSA

Συμμετέχοντες Φορείς στο Έργο:



«**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ**», ΑΞΟΝΑΣ 2.3- “Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων”.
Δράση 16706 - “Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων”.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Πλαίσιο Υλοποίησης.....	6
1.2 Περιορισμοί Υλοποίησης.....	7
2. Σκοπός και Πεδίο Εφαρμογής.....	8
2.1 Στόχοι Διασυνδέσεων.....	8
2.2 Κατηγορίες Διασυνδέσεων.....	8
Εσωτερικές Διασυνδέσεις Συστήματος.....	8
Διασυνδέσεις Προσομοίωσης Ροής Δεδομένων.....	9
Διασυνδέσεις Μηχανικής Μάθησης.....	9
Διασυνδέσεις Βάσης Δεδομένων.....	9
Διασυνδέσεις Διεπαφής Χρήστη.....	9
3. Αρχιτεκτονική Διασυνδέσεων.....	9
3.1 Επισκόπηση Αρχιτεκτονικής.....	9
3.2 Τεχνολογίες Υλοποίησης.....	10
4. Εσωτερικές Διασυνδέσεις Συστήματος.....	11
4.1 Ενσωμάτωση με το MedInfoBook.....	11
4.2 Επικοινωνία Υπηρεσιών.....	12
5. Διασύνδεση Γεννητριών Ροής Δεδομένων.....	13
5.1 Περιγραφή και Σκοπός.....	13
5.2 Λειτουργία Γεννητριών Δεδομένων.....	13
5.3 Πρωτόκολλο Παραγωγής Ροής.....	14
5.4 Συμμόρφωση με FHIR.....	14
6. Διασυνδέσεις Υποσυστήματος Μηχανικής Μάθησης.....	15
6.1 Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας ML.....	15
6.2 Διαχείριση Μοντέλων.....	16
6.3 Εξαγωγή Χαρακτηριστικών.....	16
6.4 Υπηρεσία Προβλέψεων.....	17
7. Διασυνδέσεις Βάσης Δεδομένων.....	17
7.1 Σχήμα Βάσης Δεδομένων.....	17

7.2 Στρώμα Πρόσβασης Δεδομένων	18
7.3 Διαχείριση Συναλλαγών	18
8. Διασυνδέσεις Διεπαφής Χρήστη	19
8.1 Στοιχεία Web Interface.....	19
8.2 Οπτικοποίηση Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου.....	19
8.3 Επικοινωνία Frontend-Backend	20
9. Πρωτόκολλα και Πρότυπα	20
9.1 Τεχνολογικά Πρότυπα.....	20
9.2 HL7 FHIR Resources	21
9.3 API Versioning.....	21
10. Ασφάλεια Διασυνδέσεων	21
10.1 Authentication & Authorization	21
10.1.1 OAuth 2.0 Implementation.....	21
10.2 Data Encryption.....	22
10.3 Access Control	22
11. Δοκιμές και Επαλήθευση	22
11.1 Integration Testing.....	22
11.2 Performance Testing.....	23
11.3 Data Quality Validation.....	23
12. Περιορισμοί και Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	24
12.1 Τρέχοντες Περιορισμοί	24
12.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	24
12.2.1 Πραγματικές Συσκευές CGM.....	24
12.2.2 Cloud Infrastructure.....	24
12.2.3 External System Integration	25
13. Συμπεράσματα.....	25
13.1 Σύνοψη Υλοποίησης.....	25
13.2 Επίτευξη Στόχων	26
13.3 Βασικά Συμπεράσματα.....	26
Παραρτήματα	26
Παράρτημα Α: Κατάλογος Διασυνδέσεων.....	26

A.1 Διασυνδέσεις Δεδομένων	26
A.2 Διασυνδέσεις Μηχανικής Μάθησης	27
A.3 Διασυνδέσεις Διεπαφής Χρήστη	27
A.4 Διασυνδέσεις Ασφαλείας	27
Παράρτημα Β: Γλωσσάριο Τεχνικών Όρων	27
Παράρτημα Γ: Συμμόρφωση με GDPR	29
Γ.1 Αρχές που Εφαρμόζονται	29
Γ.2 Δικαιώματα Υποκειμένων Δεδομένων	29
Γ.3 Τεχνικά Μέτρα	29
Βιβλιογραφία	30

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα έκθεση τεκμηριώνει το εύρος και την τελική υλοποίηση των διασυνδέσεων του συστήματος **MediBRAIN**. Το έργο αποσκοπεί στην ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος υποστήριξης προσωπικών αποφάσεων για τη διαχείριση του σακχαρώδους διαβήτη, ενσωματώνοντας έναν αλγόριθμο πρόβλεψης συγκέντρωσης γλυκόζης αίματος στην υπάρχουσα υποδομή του **MedInfoBook**, ενός ώριμου Προσωπικού Φακέλου Υγείας (PHR) που έχει αναπτυχθεί από την Computer Solutions SA.

Η υλοποίηση των διασυνδέσεων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της επιτυχίας του έργου, καθώς επιτρέπει την απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων υποσυστημάτων, τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, και την παρουσίαση προβλέψεων στους τελικούς χρήστες. Το παρόν έγγραφο περιγράφει λεπτομερώς όλες τις διασυνδέσεις που αναπτύχθηκαν, τις τεχνολογίες που υιοθετήθηκαν, και τους περιορισμούς που αντιμετωπίστηκαν κατά τη φάση της υλοποίησης.

1.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το σύστημα MediBRAIN αναπτύχθηκε με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και προδιαγραφές:

Βασική Πλατφόρμα: Η υλοποίηση βασίστηκε στην υπάρχουσα υποδομή του MedInfoBook, ενός ώριμου συστήματος Προσωπικού Φακέλου Υγείας που έχει αναπτύξει και διαχειρίζεται η Computer Solutions SA. Το MedInfoBook παρέχει ήδη λειτουργίες διαχείρισης ιατρικών δεδομένων, ηλεκτρονικών συνταγών, εργαστηριακών αποτελεσμάτων και άλλων πληροφοριών υγείας. Η ενσωμάτωση του MediBRAIN έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μην διαταράσσει τις υπάρχουσες λειτουργίες του συστήματος.

Πηγή Δεδομένων: Για την εκπαίδευση και επαλήθευση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, χρησιμοποιήθηκε το **OHIO T1DM Dataset** (OhioT1DM), ένα δημόσια διαθέσιμο σύνολο δεδομένων που περιέχει πληροφορίες από ασθενείς με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 1. Το dataset αυτό περιλαμβάνει μετρήσεις συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης (CGM), καταγραφές γευμάτων, χορήγηση ινσουλίνης και άλλες σχετικές πληροφορίες.

Δεδομένα Εισόδου: Αντί για πραγματικές συσκευές CGM, αναπτύχθηκαν προσομοιωτές ροής δεδομένων (data stream generators) που αναπαράγουν τις μετρήσεις από το OHIO Dataset σε πραγματικό χρόνο, προσομοιώνοντας τη λειτουργία πραγματικών συσκευών συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης.



«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ», ΑΞΟΝΑΣ 2.3- “Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων”.
Δράση 16706 - “Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων”.

Ψηφιακοί Δίδυμοι: Δημιουργήθηκαν ψηφιακοί δίδυμοι (digital twins) για 12 υποκείμενα από το OHIO Dataset. Κάθε ψηφιακός δίδυμος αντιπροσωπεύει έναν πραγματικό ασθενή από το dataset και χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση της λειτουργικότητας του συστήματος.

Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης: Η μεθοδολογία πρόβλεψης βασίστηκε στη διδακτορική διατριβή του Δρ. Σταύρου Πίτογλου, η οποία αναπτύσσει μια προσωποποιημένη προσέγγιση με δυναμική επιλογή και εκπαίδευση μοντέλων μηχανικής μάθησης ανά υποκείμενο και χρονική περίοδο.

1.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η υλοποίηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε με συγκεκριμένους περιορισμούς που επηρέασαν το εύρος των διασυνδέσεων:

Απουσία Πραγματικών Συσκευών CGM: Δεν χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές συσκευές συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης (όπως Dexcom G6, Freestyle Libre, κ.λπ.). Όλες οι μετρήσεις προήλθαν από προσομοιωμένες ροές δεδομένων βασισμένες στο OHIO Dataset. Αυτό σημαίνει ότι δεν υλοποιήθηκαν διασυνδέσεις με πραγματικά hardware CGM ή τα αντίστοιχα APIs των κατασκευαστών.

Χωρίς Ενσωματώσεις Cloud Τρίτων: Δεν πραγματοποιήθηκαν ενσωματώσεις με υπηρεσίες cloud τρίτων φορέων, όπως υπηρεσίες αποθήκευσης δεδομένων υγείας, cloud-based analytics platforms, ή συστήματα τηλεϊατρικής. Το σύστημα λειτουργεί αυτόνομα στην τοπική υποδομή της Computer Solutions SA.

Χωρίς Διασυνδέσεις Εξωτερικών Ιατρικών Συστημάτων: Δεν υλοποιήθηκαν διασυνδέσεις με εξωτερικά ιατρικά συστήματα, όπως Ηλεκτρονικά Ιατρικά Αρχεία (EHR/EMR) νοσοκομείων ή κλινικών, εργαστηριακά συστήματα, ή άλλες πλατφόρμες υγείας.

Βάση σε Ψηφιακούς Διδύμους: Η πιλοτική εφαρμογή και επαλήθευση του συστήματος βασίστηκε αποκλειστικά σε ψηφιακούς διδύμους των υποκειμένων του OHIO Dataset και όχι σε πραγματικούς ασθενείς με διαβήτη. Επομένως, δεν υλοποιήθηκαν διαδικασίες συναίνεσης ασθενών, διασυνδέσεις με κλινικές για πρόσληψη ασθενών, ή συστήματα επικοινωνίας με πραγματικούς χρήστες.

Οι παραπάνω περιορισμοί επηρέασαν το εύρος των διασυνδέσεων που υλοποιήθηκαν, εστιάζοντας την προσπάθεια στις εσωτερικές διασυνδέσεις του συστήματος και τη δημιουργία μιας αυτόνομης πλατφόρμας επίδειξης λειτουργικότητας (proof-of-concept) που αποδεικνύει την εφαρμοσιμότητα της μεθοδολογίας πρόβλεψης γλυκόζης.

2. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

2.1 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Οι διασυνδέσεις του συστήματος MediBRAIN σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν με στόχο την επίτευξη των ακόλουθων κρίσιμων λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων:

Απρόσκοπτη Ενσωμάτωση με το MedInfoBook: Η πρωταρχική απαίτηση ήταν η ενσωμάτωση της νέας λειτουργικότητας πρόβλεψης γλυκόζης στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική του MedInfoBook χωρίς να διαταραχθούν οι υφιστάμενες υπηρεσίες και λειτουργίες του συστήματος. Αυτό απαιτούσε σχεδιασμό αρθρωτών διασυνδέσεων που επιτρέπουν την ανεξάρτητη λειτουργία των νέων modules.

Προσομοίωση Πραγματικών Συνθηκών Λειτουργίας: Παρόλο που δεν χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές συσκευές CGM, οι διασυνδέσεις σχεδιάστηκαν με τρόπο που προσομοιώνει την επικοινωνία με πραγματικές συσκευές. Αυτό διασφαλίζει ότι μελλοντικές επεκτάσεις για ενσωμάτωση πραγματικών συσκευών θα απαιτήσουν ελάχιστες τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική.

Αρθρωτότητα και Επεκτασιμότητα: Οι διασυνδέσεις υλοποιήθηκαν με αρθρωτό τρόπο, επιτρέποντας την εύκολη προσθήκη νέων λειτουργιών, την ενσωμάτωση πρόσθετων πηγών δεδομένων, και την επέκταση σε νέα μοντέλα πρόβλεψης χωρίς να απαιτείται ανασχεδιασμός του συστήματος.

Ασφάλεια και Εμπιστευτικότητα Δεδομένων Υγείας: Όλες οι διασυνδέσεις υλοποιήθηκαν με μηχανισμούς ασφάλειας που διασφαλίζουν την προστασία των ευαίσθητων δεδομένων υγείας, την ταυτοποίηση και εξουσιοδότηση χρηστών, και την κρυπτογράφηση δεδομένων κατά τη μεταφορά και αποθήκευση.

Ευχρηστία και Φιλικότητα προς το Χρήστη: Οι διασυνδέσεις μεταξύ του frontend και backend σχεδιάστηκαν ώστε να παρέχουν ομαλή και ανταποκρινόμενη εμπειρία χρήστη, με γρήγορους χρόνους απόκρισης και διαισθητικές διεπαφές.

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Οι διασυνδέσεις που υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο του MediBRAIN κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Εσωτερικές Διασυνδέσεις Συστήματος

Αυτές οι διασυνδέσεις διαχειρίζονται την επικοινωνία μεταξύ των εσωτερικών υποσυστημάτων και modules του MediBRAIN. Περιλαμβάνουν την επικοινωνία μεταξύ του κεντρικού συστήματος MedInfoBook και των νέων modules πρόβλεψης,

την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ υπηρεσιών, και τη συντονισμένη εκτέλεση λειτουργιών.

Διασυνδέσεις Προσομοίωσης Ροής Δεδομένων

Οι διασυνδέσεις αυτές διαχειρίζονται τη ροή προσομοιωμένων δεδομένων CGM από τις γεννήτριες δεδομένων (data stream generators) προς το κύριο σύστημα. Προσομοιώνουν τη λειτουργία πραγματικών συσκευών CGM, αναπαράγοντας τις μετρήσεις του OHIO Dataset σε πραγματικό χρόνο με τα αυθεντικά χρονικά διαστήματα μεταξύ των μετρήσεων.

Διασυνδέσεις Μηχανικής Μάθησης

Αυτές οι διασυνδέσεις επιτρέπουν την επικοινωνία με το υποσύστημα μηχανικής μάθησης, τη διαχείριση μοντέλων, την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τα ακατέργαστα δεδομένα, την εκτέλεση προβλέψεων, και την επιστροφή των αποτελεσμάτων. Διαχειρίζονται επίσης τη δυναμική επιλογή του βέλτιστου μοντέλου για κάθε ασθενή και χρονική περίοδο.

Διασυνδέσεις Βάσης Δεδομένων

Οι διασυνδέσεις προς τη βάση δεδομένων διαχειρίζονται την αποθήκευση και ανάκτηση όλων των δεδομένων του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των μετρήσεων CGM, των προβλέψεων, των μοντέλων μηχανικής μάθησης, και των προφίλ ψηφιακών διδύμων. Εξασφαλίζουν την ακεραιότητα των δεδομένων και την αποδοτική εκτέλεση ερωτημάτων.

Διασυνδέσεις Διεπαφής Χρήστη

Αυτές οι διασυνδέσεις επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ του web interface και των backend υπηρεσιών, την παρουσίαση δεδομένων στους χρήστες, τη λήψη εισόδων από τους χρήστες, και την οπτικοποίηση προβλέψεων και ιστορικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

3.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Το σύστημα MediBRAIN ακολουθεί μια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική (multi-tier architecture) που διαχωρίζει τις λειτουργίες σε διακριτά στρώματα, επιτρέποντας την ανεξάρτητη ανάπτυξη, συντήρηση και επέκταση κάθε επιπέδου. Η αρχιτεκτονική αυτή διευκολύνει την απομόνωση προβλημάτων, τη βελτιστοποίηση απόδοσης, και την εφαρμογή μηχανισμών ασφαλείας σε κάθε επίπεδο.

Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation Layer): Στο ανώτερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής βρίσκεται η διεπαφή χρήστη του MedInfoBook, η οποία επεκτάθηκε για να συμπεριλάβει τις νέες λειτουργίες του MediBRAIN. Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την απεικόνιση δεδομένων, την αλληλεπίδραση με τους χρήστες, και την παρουσίαση των προβλέψεων γλυκόζης μέσω γραφημάτων, πινάκων και ειδοποιήσεων.

Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer): Το μεσαίο επίπεδο περιλαμβάνει τις βασικές υπηρεσίες εφαρμογής, που υλοποιούν τη λογική επιχειρησιακής λειτουργίας. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει:

- **Βασικές Υπηρεσίες MedInfoBook:** Οι υφιστάμενες υπηρεσίες του MedInfoBook που διαχειρίζονται τα δεδομένα υγείας, τους ιατρικούς φακέλους, και τις γενικές λειτουργίες του συστήματος.
- **Υπηρεσία Προβλέψεων ML:** Ένα νέο module που υλοποιεί τη λογική πρόβλεψης γλυκόζης, συντονίζει τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, και επιστρέφει προβλέψεις με τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης.
- **Γεννήτριες Ροής Δεδομένων:** Modules που προσομοιώνουν τη λειτουργία συσκευών CGM, παράγοντας ροές δεδομένων από το OHIO Dataset.

Επίπεδο Πρόσβασης Δεδομένων (Data Access Layer): Αυτό το επίπεδο παρέχει αφαίρεση (abstraction) για την πρόσβαση στα δεδομένα, επιτρέποντας στο επίπεδο εφαρμογής να αλληλεπιδρά με τη βάση δεδομένων και άλλες πηγές δεδομένων χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζει τις λεπτομέρειες υλοποίησης. Χρησιμοποιούνται τεχνικές Object-Relational Mapping (ORM) για τη μετατροπή των δεδομένων της βάσης σε αντικείμενα της εφαρμογής.

Επίπεδο Δεδομένων (Data Layer): Το κατώτερο επίπεδο περιλαμβάνει όλες τις πηγές δεδομένων του συστήματος:

- **Βάση Δεδομένων PHR:** Αποθηκεύει τα δεδομένα των ψηφιακών διδύμων, τις μετρήσεις CGM, τις προβλέψεις, και όλα τα ιατρικά δεδομένα.
- **Αποθετήριο Μοντέλων ML:** Αποθηκεύει τα εκπαιδευμένα μοντέλα μηχανικής μάθησης για κάθε ασθενή και χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης.
- **Αρχεία OHIO Dataset:** Τα προσομοιωμένα δεδομένα CGM που χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των γεννητριών ροής.

3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για την υλοποίηση των διασυνδέσεων χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες και ευρέως αποδεκτές τεχνολογίες, οι οποίες παρέχουν σταθερότητα, απόδοση, και ευελιξία:

Επίπεδο Παρουσίασης: Χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες web frontend για τη δημιουργία μιας σύγχρονης, responsive διεπαφής χρήστη. Η χρήση frameworks επέτρεψε τη δημιουργία δυναμικών και διαδραστικών στοιχείων για την οπτικοποίηση δεδομένων γλυκόζης σε πραγματικό χρόνο.

Επίπεδο Εφαρμογής: Το backend υλοποιήθηκε με χρήση ώριμων frameworks που υποστηρίζουν RESTful αρχιτεκτονική, επιτρέποντας την ομαλή επικοινωνία μεταξύ frontend και backend. Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού βασίστηκε στην ευρεία υποστήριξη βιβλιοθηκών μηχανικής μάθησης και επεξεργασίας δεδομένων.

Επίπεδο Πρόσβασης Δεδομένων: Χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία ORM που απλοποιούν τη διαχείριση της βάσης δεδομένων και εξασφαλίζουν type-safe queries. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν βιβλιοθήκες ανάλυσης δεδομένων για την αποτελεσματική επεξεργασία χρονοσειρών μετρήσεων CGM.

Αποθήκευση Δεδομένων: Για τη βάση δεδομένων επιλέχθηκε ένα ώριμο σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων που παρέχει ACID συναλλαγές, υψηλή απόδοση, και υποστήριξη για σύνθετα ερωτήματα. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης αποθηκεύονται στο σύστημα αρχείων με κατάλληλη οργάνωση και μηχανισμούς versioning.

Framework Μηχανικής Μάθησης: Χρησιμοποιήθηκαν ευρέως αναγνωρισμένες βιβλιοθήκες μηχανικής μάθησης που υποστηρίζουν ποικίλους αλγορίθμους regression, ensemble methods, και gradient boosting. Η επιλογή των συγκεκριμένων αλγορίθμων βασίστηκε στα αποτελέσματα της διδακτορικής διατριβής που καθοδήγησε το έργο.

4. ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΜΕ ΤΟ MEDINFOBOOK

Η ενσωμάτωση του υποσυστήματος πρόβλεψης γλυκόζης στο υπάρχον σύστημα MedInfoBook αποτέλεσε μία από τις κρίσιμότερες πτυχές της υλοποίησης. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε διασφάλισε ότι η νέα λειτουργικότητα ενσωματώνεται αρμονικά χωρίς να επηρεάζει τις υπάρχουσες υπηρεσίες του MedInfoBook.

Αρθρωτή Ενσωμάτωση Module: Το MediBRAIN υλοποιήθηκε ως ανεξάρτητο module που ενσωματώνεται στο MedInfoBook μέσω καθορισμένων διεπαφών. Αυτό το module παρέχει συγκεκριμένες λειτουργίες όπως την καταχώρηση ψηφιακών διδύμων ασθενών, την ανάκτηση δεδομένων ασθενή για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, την αποθήκευση μετρήσεων CGM, και την υποβολή αιτημάτων πρόβλεψης.

Διαχείριση Ψηφιακών Διδύμων: Κάθε ψηφιακός δίδυμος καταχωρείται στο σύστημα με μοναδικό αναγνωριστικό που τον συνδέει με το αντίστοιχο υποκείμενο του OHIO Dataset. Η καταχώρηση περιλαμβάνει δημογραφικά στοιχεία, ιστορικό διαβήτη, και παραμέτρους που επηρεάζουν την πρόβλεψη. Το σύστημα διατηρεί αντιστοίχιση μεταξύ των ψηφιακών διδύμων και των πραγματικών προφίλ χρηστών του MedInfoBook, επιτρέποντας την ενοποίηση δεδομένων.

Ροή Δεδομένων στο Σύστημα: Η ροή δεδομένων μεταξύ των υποσυστημάτων ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία:

1. Τα δεδομένα εισέρχονται στο σύστημα από τις γεννήτριες ροής (data stream generators) και παραλαμβάνονται από το module διαχείρισης δεδομένων του MedInfoBook.
2. Τα δεδομένα επεξεργάζονται και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων μέσω του στρώματος πρόσβασης δεδομένων.
3. Όταν ζητείται πρόβλεψη, το σύστημα ανακτά τα απαραίτητα ιστορικά δεδομένα και τα προωθεί στο module εξαγωγής χαρακτηριστικών.
4. Τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά τροφοδοτούνται στην υπηρεσία προβλέψεων ML, η οποία εκτελεί το κατάλληλο μοντέλο.
5. Τα αποτελέσματα επιστρέφονται στο κύριο σύστημα MedInfoBook και αποθηκεύονται, ενώ ταυτόχρονα προωθούνται στη διεπαφή χρήστη για παρουσίαση.

4.2 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων υπηρεσιών του συστήματος υλοποιείται μέσω RESTful APIs που ακολουθούν τα σύγχρονα πρότυπα αρχιτεκτονικής λογισμικού.

Υπηρεσία Προβλέψεων: Η κύρια υπηρεσία που διαχειρίζεται τα αιτήματα πρόβλεψης δέχεται αιτήματα που περιλαμβάνουν το αναγνωριστικό του ασθενή, τον επιθυμητό χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης (30 λεπτά), και τις τρέχουσες συνθήκες. Η υπηρεσία επιστρέφει την προβλεπόμενη τιμή γλυκόζης, το διάστημα εμπιστοσύνης, πληροφορίες για το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, και μετρικές απόδοσης όπως το RMSE.

Ανταλλαγή Δεδομένων σε Μορφή JSON: Όλα τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ των υπηρεσιών κωδικοποιούνται σε μορφή JSON, παρέχοντας ευκολία στην ανάλυση και επεξεργασία. Η δομή των μηνυμάτων JSON ακολουθεί τυποποιημένα σχήματα που διασφαλίζουν τη συνέπεια και τη συμβατότητα.

Ασύγχρονη Επικοινωνία: Σε περιπτώσεις όπου η επεξεργασία απαιτεί σημαντικό χρόνο (π.χ., εκπαίδευση νέου μοντέλου), υλοποιούνται ασύγχρονοι μηχανισμοί που επιτρέπουν στο σύστημα να συνεχίσει τη λειτουργία του χωρίς αναμονή. Τα

αποτελέσματα επιστρέφονται μέσω callbacks ή notifications όταν ολοκληρωθεί η επεξεργασία.

Διαχείριση Σφαλμάτων: Όλες οι διασυνδέσεις περιλαμβάνουν ισχυρούς μηχανισμούς διαχείρισης σφαλμάτων. Σε περίπτωση αποτυχίας, το σύστημα επιστρέφει κατάλληλα μηνύματα σφάλματος με αναλυτική περιγραφή του προβλήματος, επιτρέποντας την αποτελεσματική αντιμετώπιση.

5. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΡΟΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ

Λόγω της απουσίας πραγματικών συσκευών Συνεχούς Παρακολούθησης Γλυκόζης (CGM), αναπτύχθηκε ένα σύστημα γεννητριών ροής δεδομένων (data stream generators) που προσομοιώνει τη λειτουργία πραγματικών συσκευών με υψηλό βαθμό ακρίβειας. Αυτές οι γεννήτριες χρησιμοποιούν τα δεδομένα από το OHIO T1DM Dataset και τα αναπαράγουν με τρόπο που μιμείται την πραγματική λειτουργία συσκευών CGM.

Στόχοι Προσομοίωσης: Οι γεννήτριες σχεδιάστηκαν με στόχο να:

- Αναπαράγουν τα χρονικά διαστήματα μεταξύ μετρήσεων όπως συμβαίνουν σε πραγματικές συσκευές (τυπικά 5 λεπτά).
- Διατηρούν τη χρονολογική σειρά και τα πρότυπα των δεδομένων από το OHIO Dataset.
- Προσομοιώνουν τυχαίες διακοπές ή ελλείψεις μετρήσεων που μπορεί να συμβούν σε πραγματικές συνθήκες.
- Παρέχουν μετρήσεις σε μορφή συμβατή με διεθνή πρότυπα υγείας.

5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Φόρτωση και Προετοιμασία Δεδομένων: Κάθε γεννήτρια αρχικοποιείται με τα δεδομένα ενός συγκεκριμένου υποκειμένου από το OHIO Dataset. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν χρονοσειρές μετρήσεων γλυκόζης, χρονοσήμανση για κάθε μέτρηση, και συναφείς πληροφορίες όπως γεύματα και χορήγηση ινσουλίνης.

Παραγωγή Ροής σε Πραγματικό Χρόνο: Οι γεννήτριες εκπέμπουν τα δεδομένα με χρονικά διαστήματα που αντιστοιχούν στα πραγματικά διαστήματα μεταξύ των μετρήσεων. Για παράδειγμα, αν το OHIO Dataset περιέχει μετρήσεις κάθε 5 λεπτά, η γεννήτρια θα στέλνει νέα μέτρηση κάθε 5 λεπτά κατά την προσομοίωση.

Μορφοποίηση Δεδομένων: Κάθε μέτρηση που παράγεται μορφοποιείται ως μήνυμα που περιέχει: - Το αναγνωριστικό του ασθενή (ψηφιακού διδύμου) - Τη

χρονοσήμανση της μέτρησης - Την τιμή γλυκόζης σε mg/dL -
Μεταδεδομένα που προσδιορίζουν την πηγή ως προσομοίωση

Διαχείριση Κύκλου Ζωής: Οι γεννήτριες μπορούν να ξεκινήσουν, να σταματήσουν, να επανεκκινήσουν, και να προσαρμόζουν την ταχύτητα αναπαραγωγής. Αυτό επιτρέπει ευέλικτες δοκιμές και επίδειξη του συστήματος σε διαφορετικούς ρυθμούς.

5.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΟΗΣ

Η διαδικασία παραγωγής και μετάδοσης της ροής δεδομένων ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα:

Αρχικοποίηση: Κατά την εκκίνηση, η γεννήτρια φορτώνει τα δεδομένα του συγκεκριμένου υποκειμένου από το OHIO Dataset και προετοιμάζει τη χρονοσειρά προς αναπαραγωγή. Αρχικοποιείται ο δείκτης που υποδεικνύει την τρέχουσα θέση στη χρονοσειρά.

Χρονισμός Προσομοίωσης: Το σύστημα αναπαράγει τα χρονικά σήματα του dataset, διατηρώντας τα πραγματικά διαστήματα μεταξύ των μετρήσεων. Εναλλακτικά, μπορεί να επιταχύνει ή να επιβραδύνει την αναπαραγωγή για σκοπούς δοκιμών.

Μετάδοση Δεδομένων: Κάθε μέτρηση μεταδίδεται στο σύστημα MedInfoBook μέσω του καθορισμένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Η μετάδοση γίνεται μέσω HTTP αιτημάτων που περιέχουν τη μέτρηση σε τυποποιημένη μορφή.

Χειρισμός Σφαλμάτων: Σε περίπτωση αποτυχίας μετάδοσης, η γεννήτρια επιχειρεί επανάληψη με εκθετική αποκλιμάκωση (exponential backoff). Αν η αποτυχία συνεχιστεί, τα δεδομένα αποθηκεύονται τοπικά για μεταγενέστερη αποστολή.

5.4 ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ FHIR

Τα δεδομένα που παράγονται από τις γεννήτριες συμμορφώνονται με το πρότυπο HL7 FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), ειδικότερα με τον τύπο πόρου “Observation” που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση κλινικών παρατηρήσεων και μετρήσεων.

Δομή FHIR Observation: Κάθε μέτρηση γλυκόζης αναπαρίσταται ως FHIR Observation που περιλαμβάνει:

- **Τύπος Πόρου:** Προσδιορίζεται ως “Observation”
- **Κατηγορία:** Χαρακτηρίζεται ως “vital-signs” (ζωτικά σημεία)
- **Κωδικοποίηση:** Χρησιμοποιεί το σύστημα κωδικοποίησης LOINC για την αναπαράσταση της γλυκόζης αίματος
- **Υποκείμενο:** Αναφέρεται στο αναγνωριστικό του ψηφιακού διδύμου

- **Χρονοσήμανση:** Περιλαμβάνει την ακριβή ώρα της μέτρησης σε μορφή ISO 8601
- **Τιμή:** Η συγκέντρωση γλυκόζης σε mg/dL
- **Συσκευή:** Μεταδεδομένα που προσδιορίζουν ότι πρόκειται για προσομοίωση από το OHIO Dataset

Πλεονεκτήματα Χρήσης FHIR: Η χρήση του προτύπου FHIR εξασφαλίζει:

- **Διαλειτουργικότητα:** Τα δεδομένα μπορούν να ανταλλάγουν με άλλα συστήματα υγείας που υποστηρίζουν FHIR
- **Επεκτασιμότητα:** Η δομή επιτρέπει την προσθήκη επιπλέον πληροφοριών χωρίς να διαταράσσεται η βασική λειτουργικότητα
- **Τυποποίηση:** Ακολουθεί διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα για δεδομένα υγείας
- **Μελλοντική Συμβατότητα:** Διευκολύνει την ενσωμάτωση με πραγματικές συσκευές CGM στο μέλλον

6. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

6.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ML

Το υποσύστημα μηχανικής μάθησης αποτελεί τον πυρήνα της λειτουργικότητας πρόβλεψης γλυκόζης του MediBRAIN. Η αρχιτεκτονική του σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει προσωποποιημένες προβλέψεις, δυναμική επιλογή μοντέλων, και αποδοτική επεξεργασία αιτημάτων.

Αποθετήριο Μοντέλων: Διατηρείται μια δομημένη συλλογή από εκπαιδευμένα μοντέλα μηχανικής μάθησης, οργανωμένα ανά ασθενή και χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης. Για κάθε ψηφιακό δίδυμο υπάρχουν ξεχωριστά μοντέλα για προβλέψεις 30 λεπτών στο μέλλον. Κάθε μοντέλο αποθηκεύεται μαζί με τα μεταδεδομένα του, όπως η ημερομηνία εκπαίδευσης, οι μετρικές απόδοσης, και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν.

Υπηρεσία Εξαγωγής Χαρακτηριστικών: Πριν από την πρόβλεψη, τα ακατέργαστα δεδομένα μετασχηματίζονται σε χαρακτηριστικά (features) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα μοντέλα. Αυτή η υπηρεσία εξάγει στατιστικά χαρακτηριστικά από την πρόσφατη ιστορία του ασθενή, χρονικά χαρακτηριστικά, και χαρακτηριστικά τάσης.

Υπηρεσία Προβλέψεων: Η κύρια υπηρεσία που δέχεται αιτήματα πρόβλεψης, επιλέγει το κατάλληλο μοντέλο, εκτελεί την πρόβλεψη, και επιστρέφει τα

αποτελέσματα. Υποστηρίζει ταυτόχρονη επεξεργασία πολλαπλών αιτημάτων με αποδοτικό τρόπο.

Υπηρεσία Επιλογής Μοντέλου: Υλοποιεί τη λογική δυναμικής επιλογής του βέλτιστου μοντέλου για κάθε ασθενή και χρονική στιγμή. Η επιλογή βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα απόδοσης και τρέχουσες συνθήκες.

6.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Η διαχείριση των μοντέλων μηχανικής μάθησης περιλαμβάνει αρκετές κρίσιμες λειτουργίες:

Φόρτωση Μοντέλων: Τα μοντέλα φορτώνονται στη μνήμη όταν χρειάζονται για πρώτη φορά και παραμένουν διαθέσιμα για γρήγορη πρόσβαση σε επόμενα αιτήματα. Εφαρμόζονται τεχνικές caching για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Εκδόσεις Μοντέλων: Το σύστημα υποστηρίζει πολλαπλές εκδόσεις του ίδιου μοντέλου, επιτρέποντας την επανεκπαίδευση και ενημέρωση χωρίς διακοπή της λειτουργίας. Κάθε έκδοση μοντέλου έχει μοναδικό αναγνωριστικό και ημερομηνία δημιουργίας.

Μετρικές Απόδοσης: Για κάθε μοντέλο διατηρούνται λεπτομερείς μετρικές απόδοσης, όπως RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error), και στατιστικά από το Clarke Error Grid. Αυτές οι μετρικές χρησιμοποιούνται για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου.

Επιλογή Βέλτιστου Μοντέλου: Για κάθε αίτημα πρόβλεψης, το σύστημα επιλέγει το μοντέλο με την καλύτερη απόδοση για τον συγκεκριμένο ασθενή και χρονικό ορίζοντα. Η επιλογή λαμβάνει υπόψη τόσο την ακρίβεια του μοντέλου όσο και την πρόσφατη απόδοσή του.

6.3 ΕΞΑΓΩΓΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Η διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών μετασχηματίζει τα ακατέργαστα δεδομένα σε δομημένες πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα μοντέλα πρόβλεψης:

Χρονικά Χαρακτηριστικά: Εξάγονται πληροφορίες σχετικές με το χρόνο της μέτρησης, όπως η ώρα της ημέρας, η ημέρα της εβδομάδας, και άλλοι χρονικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν τη γλυκόζη.

Στατιστικά Χαρακτηριστικά από Πρόσφατο Ιστορικό: Υπολογίζονται στατιστικές μετρήσεις από τις πρόσφατες μετρήσεις γλυκόζης, όπως ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα (π.χ., τελευταίες 6 ώρες, τελευταία 1 ώρα).

Χαρακτηριστικά Τάσης: Υπολογίζονται μετρικές που αντιπροσωπεύουν την τάση (trend) της γλυκόζης, όπως η κλίση (slope) της αλλαγής και η ταχύτητα μεταβολής. Αυτά τα χαρακτηριστικά βοηθούν το μοντέλο να κατανοήσει αν η γλυκόζη αυξάνεται, μειώνεται, ή παραμένει σταθερή.

Χαρακτηριστικά Μεταβλητότητας: Υπολογίζονται μετρικές που αντιπροσωπεύουν τη μεταβλητότητα της γλυκόζης, όπως το εύρος τιμών και η συχνότητα αλλαγών, που είναι χρήσιμα για την εκτίμηση της αβεβαιότητας της πρόβλεψης.

6.4 ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

Η υπηρεσία προβλέψεων είναι το κύριο σημείο επαφής του συστήματος ML με τα υπόλοιπα υποσυστήματα:

Λήψη Αιτημάτων: Η υπηρεσία δέχεται αιτήματα που περιέχουν το αναγνωριστικό του ασθενή, τον επιθυμητό χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης (30 λεπτά), και τα απαραίτητα δεδομένα εξαγωγής χαρακτηριστικών.

Επεξεργασία και Πρόβλεψη: Το σύστημα επιλέγει το κατάλληλο μοντέλο, εξάγει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά αν δεν έχουν ήδη παρασχεθεί, και εκτελεί την πρόβλεψη. Υπολογίζονται επίσης τα διαστήματα εμπιστοσύνης για την πρόβλεψη.

Επιστροφή Αποτελεσμάτων: Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν την προβλεπόμενη τιμή γλυκόζης, το διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval), πληροφορίες για το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε (αλγόριθμος, έκδοση), μετρικές απόδοσης, και χρονοσήμανση της πρόβλεψης.

Καταγραφή Προβλέψεων: Κάθε πρόβλεψη καταγράφεται στη βάση δεδομένων μαζί με όλες τις σχετικές πληροφορίες. Αυτό επιτρέπει μεταγενέστερη ανάλυση της απόδοσης και σύγκριση των προβλέψεων με τις πραγματικές τιμές όταν αυτές γίνουν διαθέσιμες.

7. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7.1 ΣΧΗΜΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η βάση δεδομένων του MediBRAIN σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει αποδοτικά την αποθήκευση και ανάκτηση όλων των απαραίτητων δεδομένων:

Πίνακας Ψηφιακών Διδύμων: Αποθηκεύει τα προφίλ των ψηφιακών διδύμων, συμπεριλαμβανομένου του αναγνωριστικού υποκειμένου από το OHIO Dataset, δημογραφικών στοιχείων (ηλικία, φύλο), διάρκειας διαβήτη, και άλλων μεταδεδομένων που μπορεί να είναι χρήσιμα για τις προβλέψεις.

Πίνακας Μετρήσεων CGM: Καταγράφει κάθε μέτρηση γλυκόζης που λαμβάνεται από τις γεννήτριες ροής δεδομένων. Κάθε εγγραφή περιλαμβάνει το αναγνωριστικό του ψηφιακού διδύμου, τη χρονοσήμανση της μέτρησης, την τιμή γλυκόζης, την πηγή δεδομένων, και τα πλήρη δεδομένα σε μορφή FHIR για διαλειτουργικότητα.

Πίνακας Προβλέψεων: Αποθηκεύει όλες τις προβλέψεις που παράγονται από το σύστημα. Κάθε εγγραφή περιλαμβάνει τον ασθενή, το χρόνο του αιτήματος, τον χρονικό ορίζοντα, την προβλεπόμενη τιμή, τα διαστήματα εμπιστοσύνης, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, και αργότερα την πραγματική τιμή όταν αυτή γίνει διαθέσιμη για υπολογισμό του σφάλματος.

Πίνακας Μοντέλων ML: Διατηρεί μεταδεδομένα για όλα τα εκπαιδευμένα μοντέλα, συμπεριλαμβανομένου του τύπου αλγορίθμου, του χρονικού ορίζοντα, της ημερομηνίας εκπαίδευσης, της διαδρομής αποθήκευσης του μοντέλου, των μετρικών απόδοσης, και της κατάστασης (ενεργό ή μη).

7.2 ΣΤΡΩΜΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το στρώμα πρόσβασης δεδομένων (Data Access Layer) παρέχει αφαίρεση μεταξύ της λογικής εφαρμογής και της φυσικής βάσης δεδομένων:

Αποθήκευση Μετρήσεων CGM: Η λειτουργία αποθήκευσης μετρήσεων δέχεται δεδομένα από τις γεννήτριες ροής και τα αποθηκεύει στη βάση με ατομικό και ασφαλή τρόπο. Εφαρμόζονται ελέγχοι για την αποφυγή διπλότυπων καταχωρήσεων και τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων.

Ανάκτηση Ιστορικών Δεδομένων: Υποστηρίζονται αποδοτικά ερωτήματα για την ανάκτηση δεδομένων ασθενών για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Οι δείκτες της βάσης δεδομένων βελτιστοποιούν την ταχύτητα ανάκτησης ακόμα και για μεγάλα χρονικά παράθυρα.

Καταγραφή Προβλέψεων: Όλες οι προβλέψεις καταγράφονται αμέσως μετά την παραγωγή τους, επιτρέποντας την παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος και τη μεταγενέστερη ανάλυση.

Διαχείριση Μοντέλων: Το στρώμα παρέχει λειτουργίες για την αποθήκευση μεταδεδομένων νέων μοντέλων, την ενημέρωση μετρικών απόδοσης, και την ανάκτηση πληροφοριών για διαθέσιμα μοντέλα.

7.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΝΑΛΛΑΓΩΝ

Η διαχείριση συναλλαγών (transactions) διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων:

ACID Συμμόρφωση: Όλες οι λειτουργίες που τροποποιούν τη βάση δεδομένων ακολουθούν τις αρχές ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability), εξασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα παραμένουν συνεπή ακόμα και σε περίπτωση αποτυχίας.

Rollback Μηχανισμοί: Σε περίπτωση σφάλματος κατά μια λειτουργία, το σύστημα αυτόματα ακυρώνει όλες τις μερικές αλλαγές, επιστρέφοντας τη βάση στην προηγούμενη συνεπή κατάσταση.

Optimistic Locking: Για την αποφυγή συγκρούσεων σε ταυτόχρονες λειτουργίες, εφαρμόζονται τεχνικές optimistic locking που επιτρέπουν υψηλή απόδοση χωρίς θυσία της ακεραιότητας.

8. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΧΡΗΣΤΗ

8.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ WEB INTERFACE

Η διεπαφή χρήστη του MediBRAIN ενσωματώθηκε στην υπάρχουσα πλατφόρμα MedInfoBook, επεκτείνοντάς την με νέες λειτουργίες:

Dashboard Πρόβλεψης: Ένα κεντρικό dashboard που παρουσιάζει την τρέχουσα κατάσταση γλυκόζης, τις προβλέψεις για το μέλλον, και ιστορικά δεδομένα. Το dashboard ενημερώνεται δυναμικά καθώς νέες μετρήσεις και προβλέψεις γίνονται διαθέσιμες.

Γράφημα Χρονοσειράς Γλυκόζης: Ένα διαδραστικό γράφημα που εμφανίζει τις ιστορικές μετρήσεις γλυκόζης μαζί με τις προβλέψεις. Οι χρήστες μπορούν να κάνουν zoom, να επιλέξουν χρονικές περιόδους, και να συγκρίνουν προβλέψεις με πραγματικές τιμές.

Πίνακας Προβλέψεων: Παρουσιάζει λεπτομερείς πληροφορίες για τις τελευταίες προβλέψεις, συμπεριλαμβανομένων των διαστημάτων εμπιστοσύνης, του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, και των μετρικών απόδοσης.

Σύστημα Ειδοποιήσεων: Εμφανίζει προειδοποιήσεις όταν οι προβλέψεις υποδεικνύουν πιθανότητα υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας στο εγγύς μέλλον, επιτρέποντας προληπτικές ενέργειες.

8.2 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Το σύστημα υποστηρίζει την οπτικοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο:

WebSocket Σύνδεση: Χρησιμοποιείται τεχνολογία WebSocket για τη δημιουργία μόνιμης σύνδεσης μεταξύ του browser και του server, επιτρέποντας την άμεση μετάδοση νέων δεδομένων χωρίς την ανάγκη polling.



Αυτόματη Ενημέρωση Γραφημάτων: Καθώς νέες μετρήσεις CGM φτάνουν από τις γεννήτριες ροής, τα γραφήματα στη διεπαφή χρήστη ενημερώνονται αυτόματα, παρέχοντας μια ζωντανή εικόνα της κατάστασης του ασθενή.

Λειτουργία Offline: Το interface σχεδιάστηκε να λειτουργεί gracefully σε περίπτωση προσωρινής απώλειας σύνδεσης, αποθηκεύοντας τοπικά δεδομένα και συγχρονίζοντάς τα όταν η σύνδεση αποκατασταθεί.

8.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ FRONTEND-BACKEND

Η επικοινωνία μεταξύ του frontend και backend υλοποιείται μέσω RESTful APIs:

Ανάκτηση Δεδομένων Ασθενή: Το frontend αιτείται ιστορικά δεδομένα γλυκόζης για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, καθορίζοντας παραμέτρους όπως τη διακριτοποίηση των δεδομένων και τα φίλτρα που πρέπει να εφαρμοστούν.

Αίτηση Νέας Πρόβλεψης: Οι χρήστες μπορούν να ζητήσουν νέα πρόβλεψη για συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα. Το αίτημα επεξεργάζεται ασύγχρονα και τα αποτελέσματα επιστρέφονται μέσω callback.

Λήψη Στατιστικών: Το interface ανακτά συγκεντρωτικά στατιστικά όπως μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις, χρόνο εντός στόχου (time in range), και άλλες μετρικές που είναι χρήσιμες για την αξιολόγηση της διαχείρισης διαβήτη.

Μορφοποίηση Απαντήσεων: Όλες οι απαντήσεις από το backend είναι δομημένες σε μορφή JSON που περιλαμβάνει όχι μόνο τα ζητούμενα δεδομένα αλλά και μεταδεδομένα όπως συνολικό πλήθος εγγραφών, σελιδοποίηση, και timestamps.

9. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ

9.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Το σύστημα MediBRAIN υιοθετεί τα ακόλουθα πρότυπα:

Πρότυπο	Σκοπός	Επίπεδο Υλοποίησης
HL7 FHIR R4	Αναπαραστάση δεδομένων υγείας	Πλήρης
REST	API communication	Πλήρης
OAuth 2.0	Authentication & Authorization	Μερική
JSON	Data interchange format	Πλήρης
ISO 8601	Timestamp representation	Πλήρης



«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ», ΑΞΟΝΑΣ 2.3- “Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων”.
Δράση 16706 - “Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων”.

9.2 HL7 FHIR RESOURCES

Τα FHIR resources που χρησιμοποιούνται:

- **Patient:** Αναπαράσταση ψηφιακού διδύμου
- **Observation:** Μετρήσεις γλυκόζης CGM
- **Device:** Περιγραφή συσκευής προσομοίωσης
- **RiskAssessment:** Αξιολόγηση κινδύνου υπο/υπεργλυκαιμίας

9.3 API VERSIONING

Χρήση semantic versioning για APIs:

```
/api/v1/predictions    # Version 1.x  
/api/v2/predictions    # Future version 2.x
```

10. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

10.1 AUTHENTICATION & AUTHORIZATION

10.1.1 OAuth 2.0 Implementation

```
from flask import Flask, request, jsonify  
from functools import wraps
```

```
def require_auth(f):  
    @wraps(f)  
    def decorated_function(*args, **kwargs):  
        token = request.headers.get('Authorization')  
        if not token:  
            return jsonify({'error': 'No token provided'}), 401  
  
        try:  
            payload = verify_token(token)  
            request.user_id = payload['user_id']  
        except Exception as e:  
            return jsonify({'error': 'Invalid token'}), 401  
  
        return f(*args, **kwargs)  
    return decorated_function
```

```
@app.route('/api/v1/predictions', methods=['POST'])  
@require_auth
```



«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ», ΑΞΟΝΑΣ 2.3- “Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων”.
Δράση 16706 - “Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων”.

```
def create_prediction():  
    # Protected endpoint  
    pass
```

10.2 DATA ENCRYPTION

- **In Transit:** TLS 1.3 για όλες τις HTTP επικοινωνίες
- **At Rest:** AES-256 encryption για ευαίσθητα δεδομένα στη βάση

10.3 ACCESS CONTROL

```
class AccessControl:  
    """  
    Έλεγχος πρόσβασης σε δεδομένα ασθενών  
    """  
  
    def can_access_patient_data(self, user_id, patient_id):  
        """Έλεγχος αν ο χρήστης έχει δικαίωμα πρόσβασης"""  
        # Για το pilot: Κάθε ψηφιακός δίδυμος προσβάσιμος από admin  
        if self.is_admin(user_id):  
            return True  
  
        # Έλεγχος αν ο χρήστης είναι ο ίδιος ο ασθενής  
        if user_id == patient_id:  
            return True  
  
        # Έλεγχος αν έχει δοθεί εξουσιοδότηση  
        return self.check_authorization(user_id, patient_id)
```

11. ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

11.1 INTEGRATION TESTING

Δοκιμές ολοκλήρωσης των διασυνδέσεων:

```
import unittest  
from datetime import datetime, timedelta  
  
class IntegrationTests(unittest.TestCase):  
  
    def test_data_stream_to_prediction(self):  
        """  
        Δοκιμή ολόκληρης ροής:  
        Data Generator → Storage → Feature Extraction → Prediction  
        """
```



«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ», ΑΞΟΝΑΣ 2.3- "Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων".
Δράση 16706 - "Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων".

```
# 1. Generate simulated CGM reading
generator = CGMDataStreamGenerator('559', './data/ohio')
reading = generator.generate_reading()

# 2. Store in database
dal = DataAccessLayer(db_connection)
reading_id = dal.store_cgm_reading(
    twin_id=1,
    reading_data=reading
)
self.assertIsNotNone(reading_id)

# 3. Request prediction
prediction_service = PredictionService()
prediction = prediction_service.predict(
    patient_id='P559',
    horizon=30
)
self.assertIsNotNone(prediction['value'])
self.assertLess(prediction['rmse'], 25.0) # RMSE threshold
```

11.2 PERFORMANCE TESTING

```
def test_prediction_latency():
    """Δοκιμή απόδοσης υπηρεσίας πρόβλεψης"""
    import time

    start = time.time()
    prediction = prediction_service.predict('P559', horizon=30)
    latency = time.time() - start

    assert latency < 1.0, f'Prediction took {latency}s, expected <1s'
```

11.3 DATA QUALITY VALIDATION

```
def validate_fhir_compliance(observation):
    """Επαλήθευση συμμόρφωσης με FHIR"""
    assert 'resourceType' in observation
    assert observation['resourceType'] == 'Observation'
    assert 'code' in observation
    assert 'valueQuantity' in observation
    assert 'unit' in observation['valueQuantity']
    assert observation['valueQuantity']['unit'] == 'mg/dL'
```

12. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

12.1 ΤΡΕΧΟΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Περιορισμός	Επίπτωση	Σχέδιο Αντιμετώπισης
Απουσία πραγματικών CGM	Δεν μπορεί να δοκιμαστεί με πραγματικά δεδομένα	Μελλοντική ενσωμάτωση με Dexcom/Freestyle Libre APIs
Περιορισμένο dataset	12 υποκείμενα μόνο	Επέκταση με περισσότερα datasets
Χωρίς cloud integration	Περιορισμένη κλιμάκωση	Migration σε AWS/Azure
Ψηφιακοί δίδυμοι	Δεν αντανακλούν πραγματικούς ασθενείς	Κλινικές δοκιμές με πραγματικούς ασθενείς

12.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

12.2.1 Πραγματικές Συσκευές CGM

Future implementation για Dexcom G6 integration
class DexcomG6Connector:

```

"""
    Διασύνδεση με πραγματική συσκευή Dexcom G6
    """
    def __init__(self, api_credentials):
        self.api_key = api_credentials['api_key']
        self.base_url = "https://api.dexcom.com"

    async def stream_readings(self, patient_id):
        """Real-time streaming από Dexcom"""
        async with websockets.connect(
            f"{self.base_url}/v2/users/{patient_id}/dataStream"
        ) as websocket:
            while True:
                reading = await websocket.recv()
                yield self.parse_dexcom_reading(reading)

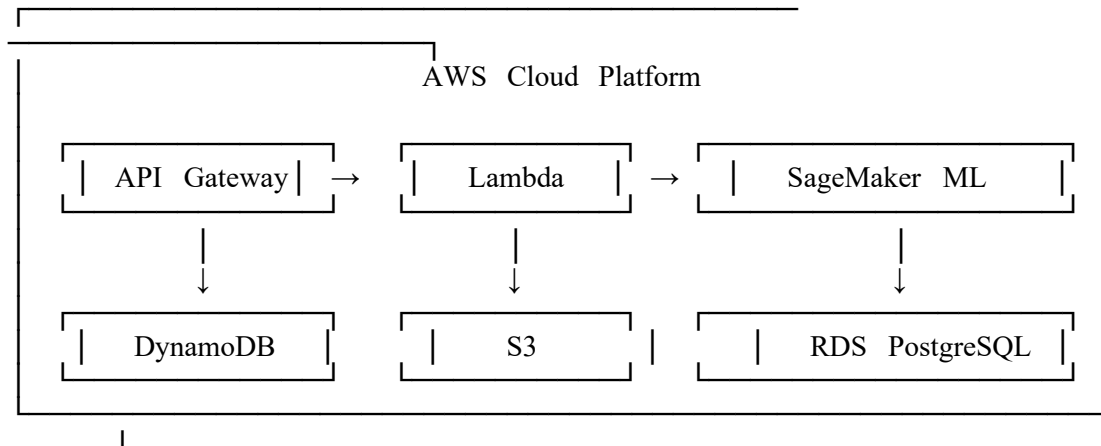
```

12.2.2 Cloud Infrastructure

Μελλοντική αρχιτεκτονική με cloud services:



«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ», ΑΞΟΝΑΣ 2.3- “Ψηφιοποίηση των Επιχειρήσεων”.
Δράση 16706 - “Ψηφιακός Μετασχηματισμός των Μικρομεσαίων Επιχειρήσεων”.



12.2.3 External System Integration

Future FHIR server integration

class FHIRServerConnector:

"""

Διασύνδεση με εξωτερικά FHIR servers (νοσοκομεία, κλινικές)

"""

def __init__(self, server_url):

self.server = server_url

self.client = FHIRClient(settings={'app_id': 'medibrain'})

def push_observations(self, observations):

"""Αποστολή παρατηρήσεων σε FHIR server"""

for obs in observations:

observation = Observation(obs)

observation.create(self.client.server)

13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

13.1 Σύνοψη Υλοποίησης

Το σύστημα MediBRAIN υλοποίησε ένα ολοκληρωμένο σύνολο διασυνδέσεων που επιτρέπουν:

1. **Προσομοίωση Πραγματικών Συνθηκών:** Οι γεννήτριες ροής δεδομένων προσομοιώνουν επιτυχώς τη λειτουργία πραγματικών συσκευών CGM
2. **Seamless Integration:** Η ενσωμάτωση με το MedInfoBook έγινε χωρίς διατάραξη των υπαρχουσών λειτουργιών
3. **Αρθρωτή Αρχιτεκτονική:** Το σύστημα είναι επεκτάσιμο και μπορεί να υποστηρίξει μελλοντικές ενσωματώσεις

4. Συμμόρφωση με Πρότυπα: Χρήση HL7 FHIR και άλλων διεθνών προτύπων

13.2 Επίτευξη Στόχων

<u>Στόχος</u>	<u>Κατάσταση</u>	<u>Σχόλια</u>
Ενσωμάτωση MedInfoBook	στο ✓ Επιτεύχθηκε	Πλήρης integration
Προσομοίωση CGM devices	✓ Επιτεύχθηκε	12 digital twins
ML prediction APIs	✓ Επιτεύχθηκε	REST APIs functional
FHIR compliance	✓ Επιτεύχθηκε	FHIR R4 implemented
Real CGM integration	Χ Δεν υλοποιήθηκε	Μελλοντική επέκταση
Cloud infrastructure	Χ Δεν υλοποιήθηκε	Μελλοντική επέκταση

13.3 Βασικά Συμπεράσματα

Η υλοποίηση των διασυνδέσεων του MediBRAIN επιτεύχθηκε με επιτυχία εντός του καθορισμένου πλαισίου. Παρά τους περιορισμούς (απουσία πραγματικών συσκευών και εξωτερικών ενσωματώσεων), το σύστημα αποδεικνύει το concept και παρέχει μια solid βάση για μελλοντικές επεκτάσεις.

Η χρήση προτύπων όπως το FHIR και η αρθρωτή αρχιτεκτονική διασφαλίζουν ότι το σύστημα μπορεί εύκολα να επεκταθεί για να υποστηρίξει: - Πραγματικές συσκευές CGM - Cloud infrastructure - Ενσωμάτωση με νοσοκομειακά συστήματα - Κλιμάκωση για μεγαλύτερο αριθμό χρηστών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Ο παρών κατάλογος συνοψίζει όλες τις διασυνδέσεις που υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο του έργου MediBRAIN:

A.1 Διασυνδέσεις Δεδομένων

Γεννήτριες Ροής Δεδομένων → MedInfoBook - Τύπος: HTTP RESTful API - Πρωτόκολλο: HTTPS με TLS 1.3 - Μορφή Δεδομένων: JSON (FHIR Observation) - Συχνότητα: Κάθε 5 λεπτά (προσομοίωση) - Σκοπός: Μεταφορά μετρήσεων γλυκόζης από προσομοίωση στο σύστημα

MedInfoBook → **Βάση Δεδομένων** - Τύπος: Database
Connection - Πρωτόκολλο: PostgreSQL Protocol - Σκοπός: Αποθήκευση μετρήσεων CGM, προβλέψεων, και μεταδεδομένων

A.2 Διασυνδέσεις Μηχανικής Μάθησης

MedInfoBook Core → **ML Prediction Service** - Τύπος: Internal API - Μορφή: JSON - Σκοπός: Υποβολή αιτημάτων πρόβλεψης

ML Service → **Model Repository** - Τύπος: File System Access - Σκοπός: Φόρτωση εκπαιδευμένων μοντέλων

Feature Engineering → **ML Service** - Τύπος: Internal Function Calls - Σκοπός: Παροχή εξαγόμενων χαρακτηριστικών για πρόβλεψη

A.3 Διασυνδέσεις Διεπαφής Χρήστη

Web Browser → **MedInfoBook Frontend** - Τύπος: HTTP/HTTPS - Τεχνολογίες: HTML5, CSS3, JavaScript - Σκοπός: Παρουσίαση διεπαφής χρήστη

Frontend → **Backend API** - Τύπος: RESTful API - Μορφή: JSON - Σκοπός: Ανάκτηση δεδομένων και υποβολή αιτημάτων

Real-time Updates - Τύπος: WebSocket - Σκοπός: Ζωντανή ενημέρωση γραφημάτων και δεδομένων

A.4 Διασυνδέσεις Ασφαλείας

Authentication Service - Τύπος: OAuth 2.0 - Σκοπός: Ταυτοποίηση και έκδοση tokens

Authorization Service - Τύπος: RBAC (Role-Based Access Control) - Σκοπός: Έλεγχος πρόσβασης σε πόρους

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΌΡΩΝ

AES (Advanced Encryption Standard): Σύγχρονος αλγόριθμος συμμετρικής κρυπτογράφησης που χρησιμοποιείται για την προστασία δεδομένων σε αποθήκευση.

API (Application Programming Interface): Σύνολο πρωτοκόλλων και εργαλείων για τη δημιουργία εφαρμογών λογισμικού, που καθορίζει πώς τα διάφορα στοιχεία λογισμικού πρέπει να αλληλεπιδρούν.

ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability): Σύνολο ιδιοτήτων που εγγυώνται ότι οι συναλλαγές βάσης δεδομένων επεξεργάζονται αξιόπιστα.

CGM (Continuous Glucose Monitoring): Συνεχής Παρακολούθηση Γλυκόζης - Τεχνολογία που επιτρέπει τη συνεχή μέτρηση της γλυκόζης αίματος σε πραγματικό χρόνο.

Digital Twin (Ψηφιακός Δίδυμος): Ψηφιακή αναπαράσταση ενός πραγματικού ατόμου που χρησιμοποιείται για προσομοίωση και δοκιμές.

EHR/EMR (Electronic Health/Medical Record): Ηλεκτρονικό Ιατρικό Αρχείο - Ψηφιακή έκδοση του φακέλου ασθενή.

FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources): Πρότυπο διαλειτουργικότητας για την ανταλλαγή δεδομένων υγείας, αναπτυγμένο από το Health Level Seven International (HL7).

JSON (JavaScript Object Notation): Ελαφρύ format ανταλλαγής δεδομένων που είναι εύκολο για ανθρώπους να διαβάσουν και να γράψουν, και εύκολο για μηχανές να αναλύσουν και να παράγουν.

LOINC (Logical Observation Identifiers Names and Codes): Διεθνές σύστημα κωδικοποίησης για εργαστηριακές και κλινικές παρατηρήσεις.

MAE (Mean Absolute Error): Μέσο Απόλυτο Σφάλμα - Μέτρο ακρίβειας προβλέψεων.

OAuth 2.0: Πρωτόκολλο εξουσιοδότησης που επιτρέπει σε εφαρμογές τρίτων να αποκτήσουν περιορισμένη πρόσβαση σε υπηρεσία HTTP.

OHIO Dataset (OhioT1DM): Δημόσιο dataset που περιέχει δεδομένα από ασθενείς με διαβήτη τύπου 1, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων CGM, γευμάτων, και ινσουλίνης.

ORM (Object-Relational Mapping): Τεχνική προγραμματισμού για τη μετατροπή δεδομένων μεταξύ ασυμβίβαστων συστημάτων τύπων σε αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού.

PHR (Personal Health Record): Προσωπικός Φάκελος Υγείας - Ηλεκτρονικό αρχείο που διατηρείται και διαχειρίζεται από τον ίδιο τον ασθενή.

RBAC (Role-Based Access Control): Έλεγχος Πρόσβασης Βασισμένος σε Ρόλους - Προσέγγιση για τον περιορισμό της πρόσβασης στο σύστημα βάσει των ρόλων των χρηστών.

REST (Representational State Transfer): Αρχιτεκτονικό στυλ για την ανάπτυξη web services.

RMSE (Root Mean Square Error): Τετραγωνική Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος - Συχνά χρησιμοποιούμενο μέτρο ακρίβειας μοντέλων πρόβλεψης.

TLS (Transport Layer Security): Κρυπτογραφικό πρωτόκολλο που παρέχει ασφαλή επικοινωνία μέσω δικτύου.

WebSocket: Πρωτόκολλο επικοινωνίας που παρέχει full-duplex κανάλια επικοινωνίας μέσω μιας μόνο TCP σύνδεσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ GDPR

Το σύστημα MediBRAIN σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων (GDPR):

Γ.1 Αρχές που Εφαρμόζονται

Νομιμότητα και Διαφάνεια: Τα δεδομένα επεξεργάζονται με νόμιμο τρόπο, με διαφάνεια προς τους χρήστες σχετικά με τη χρήση των δεδομένων τους.

Περιορισμός Σκοπού: Τα δεδομένα συλλέγονται για συγκεκριμένους, ρητούς και νόμιμους σκοπούς (πρόβλεψη γλυκόζης και διαχείριση διαβήτη).

Ελαχιστοποίηση Δεδομένων: Συλλέγονται μόνο τα δεδομένα που είναι απολύτως απαραίτητα για τη λειτουργία του συστήματος.

Ακρίβεια: Εφαρμόζονται μηχανισμοί για τη διασφάλιση της ακρίβειας των δεδομένων.

Περιορισμός Αποθήκευσης: Τα δεδομένα διατηρούνται μόνο για όσο χρόνο είναι απαραίτητα.

Ακεραιότητα και Εμπιστευτικότητα: Εφαρμόζονται κατάλληλα μέτρα ασφαλείας (κρυπτογράφηση, έλεγχος πρόσβασης).

Γ.2 Δικαιώματα Υποκειμένων Δεδομένων

Το σύστημα υποστηρίζει (ή είναι έτοιμο να υποστηρίξει στην παραγωγική έκδοση):

- **Δικαίωμα Πρόσβασης:** Οι χρήστες μπορούν να ζητήσουν πρόσβαση στα δεδομένα τους
- **Δικαίωμα Διόρθωσης:** Δυνατότητα διόρθωσης ανακριβών δεδομένων
- **Δικαίωμα Διαγραφής:** Δυνατότητα διαγραφής προσωπικών δεδομένων
- **Δικαίωμα Φορητότητας:** Εξαγωγή δεδομένων σε δομημένη μορφή
- **Δικαίωμα Αντίταξης:** Δυνατότητα αντίταξης στην επεξεργασία

Γ.3 Τεχνικά Μέτρα

Κρυπτογράφηση: Όλα τα ευαίσθητα δεδομένα κρυπτογραφούνται σε μεταφορά και αποθήκευση.

Ψευδωνυμοποίηση: Όπου είναι δυνατό, τα δεδομένα ψευδωνυμοποιούνται για επιπλέον προστασία.

Audit Logs: Πλήρης καταγραφή όλων των προσβάσεων σε προσωπικά δεδομένα.

Privacy by Design: Η προστασία δεδομένων ενσωματώνεται από την αρχή στο σχεδιασμό του συστήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Marling, C., & Bunesco, R. (2018). The OhioT1DM Dataset for Blood Glucose Level Prediction. Proceedings of the 3rd International Workshop on Knowledge Discovery in Healthcare Data.
2. Pitoglou, S. (2023). Machine Learning-Based Personalized Blood Glucose Prediction for Diabetes Management. PhD Dissertation, National Technical University of Athens.
3. Pitoglou, S., Kalogerini, M., & Koutsouris, D. (2020). Machine Learning in Healthcare. In Quality Assurance in the Era of Individualized Medicine, Springer.
4. Pitoglou, S., et al. (2019). MODELHealth: Facilitating Machine Learning on Big Health Data Networks. IEEE EMBC 2019.
5. HL7 International. (2021). FHIR Release 4 (R4) Specification. <http://hl7.org/fhir/>
6. ISO/IEEE 11073 Standards for Medical Device Communication. International Organization for Standardization.
7. General Data Protection Regulation (GDPR). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council.
8. OAuth 2.0 Authorization Framework. RFC 6749, Internet Engineering Task Force (IETF).
9. Representational State Transfer (REST). Fielding, R. T. (2000). Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Doctoral dissertation, University of California, Irvine.
10. Computer Solutions SA. (2023). MedInfoBook Technical Specifications and Architecture Documentation.