

Insulin Pump

Progetto di Ingegneria del Software

Daniele Marretta, Tommaso Lopedote, Jacopo Spallotta



1. Introduzione

Il sistema "Insulin Pump" è un modello per la gestione, monitoraggio e controllo per pazienti diabetici che fanno uso di una Pompa di Insulina. Il sistema è in grado di regolare i livelli di glucosio all'interno del sangue del paziente rilasciando dosi di Insulina in base a determinati valori forniti in input ed ad altri valori variabili.

2. Descrizione

Il sistema offre funzionalità di monitoraggio e controllo per garantire una gestione sicura e efficace del diabete attraverso l'uso di una pompa di insulina. Esso è caratterizzato da un gruppo di componenti, ognuno con un determinato compito. I componenti interagiscono tra loro nella comunicazione attraverso Redis, e nel salvataggio dei dati attraverso un database in PostgreSQL

2.2 Componenti

2.2.1 Modelli

- **2.2.1.1 Paziente** Calcola il valore di insulina necessario in base alla concentrazione di glucosio attuale nel sangue e valori correlati
- **2.2.1.2 Pompa dell'insulina** Riceve dal paziente il valore di insulina di cui ha bisogno e la inietta a determinate condizioni
- **2.2.1.3 Environment** Ambiente di controllo in grado di alternare il paziente nelle fasi di digiuno e di alimentazione

2.2.2 Timer e orologio Necessari per la gestione degli intervalli di tempo tra le iniezioni ed il calcolo delle funzioni in base al tempo

2.2.3 Console Funge da interfaccia con l'utente mostrando i valori attuali di glucosio nel sangue ed insulina somministrata

2.2.4 Monitors

2.2.1 Modelli

2.2.1.1 Paziente

Il modello "Patient" simula un paziente in grado di interagire con il modello "Insulin Pump" della Pompa di Insulina. La simulazione calcola in modo dinamico i livelli di glucosio nel sangue e l'insulina necessaria a regolare il valore del glucosio stesso.

2.2.1.1.1 Inizializzazione

La fase di inizializzazione del Paziente richiede alla base 4 parametri necessari

- Età
- Sesso
- Peso
- Altezza

Attraverso i valori dei parametri principali ne vengono calcolati altri 6

- l'indice di massa corporea (BMI): composizione corporea in relazione all'altezza di un individuo
- l'Area Superficiale Corporea (BSA): misura della superficie esterna del corpo di un individuo
- Volume di distribuzione centrale dell'insulina (V_c): volume apparente nel quale l'insulina è distribuita all'interno del corpo
- b_1 : coefficiente o un parametro che influisce sulla velocità o sulla cinetica del glucosio o dell'insulina all'interno del sistema.
- a_1 e fra : i quali valori vengono stabiliti in relazione al BMI

Una volta ottenuti, i valori vengono passati alla struttura del Patient che viene inizializzata

2.2.1.1.2 Calcolo del Glucosio

Il calcolo del valore del glucosio nel sangue avviene all'interno di un ciclo while e viene aggiornato ad ogni iterazione per ottenere ad ogni intervallo di tempo un valore (possibilmente anche nullo) di insulina necessaria.

I valori necessari per il calcolo del glucosio appartengono alle seguenti componenti

- Glucose Kinetics: *velocità di assorbimento, distribuzione, metabolismo ed eliminazione del Glucosio nel corpo*
- Insulin Kinetics: *velocità di assorbimento, distribuzione, metabolismo ed eliminazione dell'Insulina nel corpo*
- Rate of Glucose Appearance: *velocità con la quale il glucosio appare nel flusso sanguigno*
- Endogenous Glucose Production: *quantità di glucosio prodotta internamente dal corpo*
- Glucose Utilization: *eliminazione del glucosio attraverso i reni*
- C-Peptide Kinetics: *velocità di assorbimento, distribuzione ed eliminazione del C-peptide*
- Insulin and C-Peptide Secretion: *processo di rilascio di insulina e C-peptide da parte delle cellule beta del pancreas in risposta all'aumento di glucosio nel sangue*

Le formule per il calcolo del glucosio sono discretizzate in base al tempo, dunque nel calcolo dei valori di ogni ad ogni componente al tempo $t+1$ sono necessari i relativi valori al tempo t .

2.2.1.2 Pompa dell'Insulina

Il modello "Insulin Pump" simula il comportamento di una Pompa di Insulina. Il sistema è caratterizzato da una serie di controlli e basato su un ciclo

temporale. Nell'esecuzione Il programma stampa periodicamente lo stato della pompa sulla console e continua l'esecuzione in modo indefinito. Configurazione del Debug:

La struttura "Insulin Pump" viene inizializzata con parametri relativi a:

1. Valore minimo del glucosio nel sangue
2. Valore safe del glucosio
3. Valore massimo del glucosio nel sangue
4. Valore safe massimo del glucosio
- 5.
- 6.
7. come valori minimi e massimi di glucosio e il puntatore a una funzione di test (test).

Il funzionamento del sistema si basa anch'esso su un ciclo while che simula il passare del tempo, attraverso il quale viene calcolato lo stato successivo in cui si trova la pompa utilizzando la funzione next.

2.2.1.3 Environment

L'Environment ha come compito principale quello di controllare la Pompa dell'Insulina ed il Paziente.

Il sistema fa uso di un database creato attraverso PostgreSQL sul quale vengono registrate le informazioni e i dati sullo stato del Paziente e sulla Pompa dell'Insulina.

La simulazione del sistema è basata su un timer assoluto grazie al quale il Paziente può alternare lo stato di alimentazione con lo stato di digiuno, indicato attraverso la variabile *delta*. La durata di entrambe le fasi, *meal_duration* e *fasting_duration* sono modificabili

2.2.3 Console

La console fornisce ad ogni intervallo di tempo

- Il valore attuale del glucosio nel sangue del paziente;
- Il valore di Insulina fornita dalla Pompa di Insulina
- Lo stato del paziente (isEating) ogni tot intervalli di tempo

3. Requisiti

3.1 User Requirements

Gli “User Requirements” sono progettati per garantire la sicurezza del paziente, mantenere livelli di glucosio ottimali per la salute, ridurre al minimo la quantità di insulina necessaria e gestire gli intervalli di tempo tra le iniezioni, con lo scopo di ottimizzare al meglio la gestione del diabete.

1. Sicurezza

- **Descrizione** Il sistema deve garantire che il valore del glucosio del paziente non scenda mai al di sotto di 50 mg/dL per evitare situazioni di ipoglicemia, che possono essere dannose per la salute.
- **Obiettivo** Minimizzare il rischio di ipoglicemia attraverso il monitoraggio costante e l'emissione di avvisi o notifiche in caso di valori di glucosio bassi.

2. Vitalità e Quantità di Insulina

- **Descrizione** Il sistema deve mantenere il valore del glucosio del paziente il più possibile vicino a 100 mg/dL, che è considerato un livello ottimale per la salute generale. Il sistema deve quindi essere progettato per ridurre al minimo la quantità totale di insulina iniettata giornalmente
- **Obiettivo** Ottimizzare il controllo del glucosio e la gestione dell'insulina per mantenere il glucosio nei livelli desiderati, somministrando dosi piccole e costanti per mantenere la soglia del glucosio più vicino possibile a quella ottimale

3. Intervallo di Tempo per l'Iniezione di Insulina

- **Descrizione** Il sistema deve massimizzare l'intervallo di tempo tra le iniezioni di insulina, mantenendolo compreso tra 5 e 10 minuti.
- **Obiettivo** Ottimizzare la somministrazione di insulina in modo da fornire al paziente un regime flessibile e personalizzato, contribuendo al controllo efficace dei livelli di glucosio nel tempo.

3.2 System Requirements

4. Database e Logs

Il Database utilizzato nel sistema, implementato attraverso l'utilizzo di PostgreSQL, è strutturato per organizzare i log generati dai modelli Patient e Insulin Pump, che vengono salvati nelle tabelle del database attraverso record con attributi associati. Di seguito analizziamo in maniera più dettagliata i record generati da Patient, Insulin Pump ed Environment

4.1 Patient

I record del Patient inseriti all'interno della LogTable sono relativi al

1. Glucose value
2. Insulin value
3. Endogenous Glucose Production
4. Glucosio nello stomaco
5. Insulin utilization
6. Renal Excretion
7. Insulin secretion

Per ogni record inserito si hanno 5 attributi che indicano

- *Tempo* assoluto in nanosecondi in cui sono stati inseriti i dati
- *vid* id univoco associato alle variabili inserite
- *varvalue* valore della grandezza associata al *vid* corrispondente
- *loginfo* informazione dettagliata sulla tipologia del valore (es. Glucose)
- *t* unità di tempo interno al sistema

4.2 Insulin Pump

I record dell'Insuline Pump inseriti all'interno della LogTable sono

1. Stato della pompa di insulina
2. Dose calcolata (comp_dose)

Per ogni record inserito si hanno 5 attributi che indicano

- *Tempo* assoluto in nanosecondi in cui sono stati inseriti i dati
- *vid* id univoco associato alle variabili inserite
- *varvalue* valore della grandezza associata al *vid* corrispondente
- *loginfo* informazione dettagliata sulla tipologia del valore (es. execution)
- *t* unità di tempo interno al sistema

4.3 Environment

L'unico record dell'Environment inserito all'interno della LogTable è il

1. Cibo assunto (delta)

Per ogni record inserito si hanno 5 attributi che indicano

- *Tempo* assoluto in nanosecondi in cui sono stati inseriti i dati
- *vid* id univoco associato alle variabili inserite
- *varvalue* valore della grandezza associata al *vid* corrispondente
- *loginfo* informazione dettagliata sulla tipologia del valore (es. Food intake)
- *t* unità di tempo interno al sistema

Da revisionare

User Requirements

Dose iniettata in base a determinati valori di glucosio

Se il glucosio è sopra o sotto i valori attesi avviene il rilascio dell'insulina

Nessuna iniezione se il valore del glucosio rientra nel valore atteso

Limiti

Dose massima per singola iniezione

Sul numero di dosi giornaliere

Sull'insulina totale giornaliera

Al rilascio di una dose avviene un confronto con la dose precedente per tenere traccia dell'andamento dei valori dell'insulina

Dose di insulina minimizzata con monitoraggio costante sul valore di glucosio con lo scopo di iniettare meno insulina possibile ogni rilascio

Controllo sul numero totale di iniezioni giornaliere

Doppio timer con tempo assoluto e tempo relativo e controllo del tempo giusto dopo ogni rilascio di insulina

Alerts

UNDERDOSE_FAILURE: se va sotto il valore atteso

OVERDOSE_FAILURE: se va sopra il valore atteso

EARLYTIME_FAILURE: se il rilascio avviene prima dell'intervallo prestabilito

LATETIME_FAILURE: se il rilascio avviene dopo l'intervallo prestabilito

Reset dei valori a mezzanotte

FAULT Protection e Warning

SENSOR_FAILURE se uno dei sensori non dovesse funzionare avvisa l'utente con un warning

Manda un warning sul livello di insulina nel contenitore (100ml max)

LOW_INSULINE_WARNING Quando è quasi vuota (sotto un determinato valore)

EMPTY_INSULINE_WARNING Quando è vuota

LOW_BATTERY_WARNING: warning sul livello della batteria (quando è quasi scarica)

UNDERDOSE_FAILURE & OVERDOSE_FAILURE quando i risultati del doppio controllo non corrispondono ai valori attesi

EARLYTIME_FAILURE & LATETIME_FAILURE quando il rilascio di insulina avviene troppo a breve o troppo in ritardo rispetto al rilascio precedente. Il controllo viene effettuato dopo ogni rilascio confrontando un timer con tempo relativo (pari all'intervallo di tempo con cui viene rilasciata l'insulina) e un timer con tempo assoluto (orologio)