



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Zdroj: <https://predmety.fbmi.cvut.cz/cs/doktorske-bme>

Využití zpětnovazebního řízení v klinické praxi

F7DILAKS

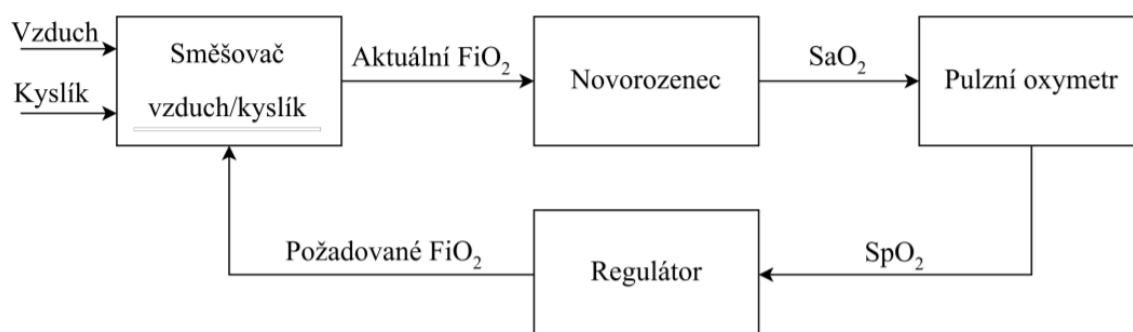
Témata úlohy

- Součásti automatického zpětnovazebního řídicího systému
- Zpoždění v automatické zpětnovazební smyčce
- PID regulátor

Úvod

Tato experimentální úloha má za cíl praktickou ukázkou automatických řídicích systémů, které jsou využívány v klinické praxi u neonatálního plicního ventilátoru. U novorozenců, obzvláště těch předčasně narozených je důležité správné dodržení normoxémie. Okysličení organismu je monitorováno pomocí pulzních oxymetrů jako saturace periferní krve kyslíkem (SpO_2). V případě nedostatečného okysličení organismu nastává hypoxémie způsobující nedostatečnou oxygenaci tkání, zpomalení vývoje, plicní hypertenzi nebo znovuotevření Botallovy dučeje. V případě nadměrného podání kyslíku dochází k hyperoxémii způsobující zvýšené množství kyslíkových radikálů, negativní vliv na vývoj nervového systému a časté retinopatické onemocnění předčasně narozených dětí.

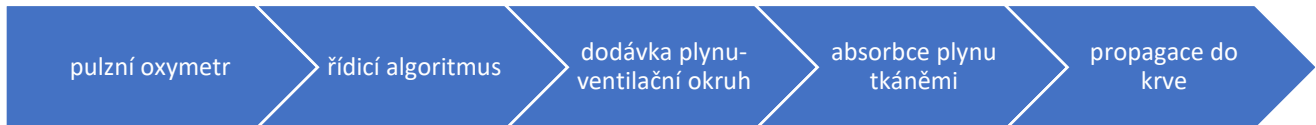
Regulační smyčka se skládá z pulzního oxymetru, kdy je hodnota saturace periferní krve přiváděna do kontroléru, který pomocí připraveného řídicího algoritmu nastaví velikost frakce kyslíku v inspirační směsi. Nastavení FiO_2 je prakticky provedeno pomocí elektromechanického směšovače, jenž se v případě této laboratorní úlohy skládá z elektromechanických ventilů a komůrky pro mísení plynů. Obecné schéma automatického zpětnovazebního řídicího systému je na obrázku 1.



Obrázek 1 Blokové schéma automatického zpětnovazebního řídicího systému SpO_2-FiO_2

Automatické systémy se zpětnou vazbou vykazují zpoždění při regulaci. Jednak může docházet ke zpoždění při sběru a filtraci signálu, v tomto případě při filtraci SpO_2 , dále během rozhodovacího procesu algoritmu, než nastane změna, na kterou zareaguje a dále dochází ke zpoždění na akčním členu a reakci na samotný systém. V případě změny FiO_2 se jedná o zpoždění mezi změnou množství kyslíku v elektromechanickém směšovači a

reálnou změnou frakce kyslíku v místě u pacienta, tedy zpoždění dodávky ventilační směsi v patientském okruhu. Dále lze zařadit zpoždění samotného systému, v tomto případě reakce organismu na zvýšení frakce a promítnutí této skutečnosti v rámci měřeného SpO_2 . Na obrázku 2 je obecné schéma možných zpoždění v této regulační smyčce.



Obrázek 2 Schéma možných zdrojů zpoždění v regulační smyčce SpO_2 - FiO_2

V neonatologické péči se používají automatické řídicí systémy, které jsou komerčně označovány jako CLiO2 (CareFusion, USA) nebo PRICO (Acutronic Medical Systems AG, Švýcarsko). CLiO2 je nejrozšířenější systém automatického řízení oxygenace u pacientů. Využívá adaptivní regulátor ve smyslu nastavování FiO_2 podle závažnosti plicní dysfunkce. Probíhá měření a vyhodnocování aktuální hodnoty SpO_2 , velikost a směr změny SpO_2 , stupeň a doba hypoxémické nebo hyperoxémické epizody a aktuální a individuální bazální FiO_2 . Automatický systém PRICO využívá stavový regulátor, který vyhodnocuje aktuální i trendové hodnoty SpO_2 pro volbu velikosti změny FiO_2 . Před nastavením kontroluje dechové objemy, úniky rozpojením okruhu a správnost měřených dat.

Nutná příprava studenta

- Prostudujte manuál k pulznímu oxymetru Massimo Root s Radical 7 a odhalte, které piny správného konektoru mohou sloužit jako analogové výstupy hodnoty saturace periferní krve kyslíkem (%) a pletysmografické křivky.
- Seznámení se s manuálem pro simulátor pro komplexní ověření monitorů životních funkcí

Úkoly měření

- 1) Sestavte schéma automatického zpětnovazebního řízení FiO_2 podle aktuální hodnoty SpO_2 ve smyslu rozboru konkrétních komponent a prvků systému pro realizaci regulační smyčky.
- 2) V programu LabView vytvořte prahový regulátor, který bude ze simulovaných vstupních dat (3 min záznam SpO_2) rozhodovat o změně FiO_2 . Otevřete *Ukol2.vi* v projektu *ZVřízení.lproj*, kde je připraven vstupní signál a základní struktura programu. Změna bude indikovaná LED kontroléry v programu. Pokud bude saturace vyšší než 95 %, snížit FiO_2 o 5 %, SpO_2 nižší než 87 %, zvýšit FiO_2 o 5 % a pokud bude SpO_2 v optimálním rozmezí, neprovádět žádnou změnu FiO_2 a po 10 s snížit o 5 %. Přípravu pro tento rozhodovací proces implementujte v LabView (v daných situacích svítí odpovídající LED indikátor).
- 3) Propojte piny analogových výstupů pulzního oxymetru s analogovými vstupy NI DAQ (AD) měřicí karty a zobrazte signál v LabView (s dostatečnou vzorkovací frekvencí a kvantizačním krokem).
- 4) Na pulzním oxymetru Masimo nastavte různou dobu průměrovacího okna (v základu je nastaveno 8 s) *SpO₂ Averaging Mode*. Změřte dobu zpoždění mezi vyvolanou změnou SpO_2 na simulátoru Fluke ProSim 8 a reálně měřenými daty. Popište a diskutujte metodu měření zpoždění. K této analýze

využijte SW LabView a připravený *Ukol4.vi* v projektu *ZVrizeni.lproj* (použijte blok DAQ Assistant).

- 5) Otestujte citlivost SpO_2 a dokumentujte pozorované změny při změnách parametru *SpO₂ Sensitivity*. K této analýze využijte SW LabView a připravený *Ukol4.vi* v projektu *ZVrizeni.lproj* (použijte blok DAQ Assistant).
- 6) Otevřete *Ukol6.vi*. V této části budete načítat SpO_2 data z pulzního oxymetru, který bude připojen k simulátoru Fluke ProSim 8. Současně budete řídit dvě dvojice elektromagnetických ventilů (NC, 24 V), pomocí kterých bude řízena frakce plynu v celkové směsi. Dva ventily jsou použity z důvodu citlivějšího nastavování průtoku plynu, jeden pro jednotky, druhý pro desítky L/min. K řízení ventilů je vytvořena deska plošných spojů s tranzistory a komponenty pro správné řízení elektromagnetických ventilů. Nastavte parametry PID regulátoru (využijte help v LabView) tak, aby bylo možné udržovat požadovanou hodnotu SpO_2 92 %.

Otázky

- Popište princip AD převodníku.
- Co je PWM.
- Jaké jsou hrozby při podání čistého kyslíku pacientovi?
- Je třeba věnovat zvýšené opatrnosti při manipulaci s kyslíkem?
- Vysvětlíte význam zkratk NC/NO u elektromagnetických ventilů.
- Odhalte alespoň 5 zdrojů nejistot typu B při měření pulzním oxymetrem.

Reference

FATHABADI, Omid Sadeghi, Timothy J. GALE, J.C. OLIVIER a Peter A. DARGAVILLE. Automated control of inspired oxygen for preterm infants: What we have and what we need. *Biomedical Signal Processing and Control* [online]. 2016, 28, 9-18. DOI: 10.1016/j.bspc.2016.03.002. ISSN 17468094. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1746809416300234>.

Acutronic. PRICO. Predictive Intelligent Control of Oxygenation. PRICO brochure 2016. Switzerland, 2016 [online]. Dostupné z: <https://www.acutronicmedical.ch/products/prico.html>.

CareFusion. Avea® Auto-FiO2 Option (CLiO2TM): Operator's manual appendix. USA, 2011 [online]. Dostupné z: http://www.carefusion.in/documents/international/guides/user-guides/respiratorycare/mechanical-ventilation/RC_Avea-Auto-FiO2-Option-CLiO-2_UG_EN.pdf.

ASCO. Engineering Information Solenoid Valves [online]. Dostupné z: <https://www.asco.com/ASCO%20Asset%20Library/asco-solenoid-valves-engineering-information.pdf>.