

ІНТЕРВАЛЬНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗВОРОТНЬОГО ГОРТАННОГО НЕРВА В ПРОЦЕСІ ХІРУРГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ НА ЩИТОВИДНІЙ ЗАЛОЗІ

Дивак М.П., Манжула В.І., Падлецька Н.І.
Тернопільський національний економічний університет

Постановка задачі

Однією із основних проблем під час проведення хірургічних операцій на щитовидній залозі є виявлення зворотнього гортанного нерва, пошкодження якого призводить до небажаних наслідків, пов'язаних із функціонуванням організму людини.

Спосіб ідентифікації зворотнього гортанного нерва, запропонованого авторами [1], ґрунтується на подразненні тканин в хірургічній рані змінним струмом фіксованої частоти та з подальшою реєстрацією скорочення голосових зв'язок на даній частоті звуковим сенсором, встановленим у дихальній трубці, розміщеній у гортані пацієнта, з подальшим його перетворенням у електричний сигнал, а вихідний інформаційний сигнал, який характеризує наближеність до гортанного нерва, визначають по зміні амплітуди електричного струму заданої частоти. Програмний модуль опрацювання вихідного інформаційного сигналу включає визначення максимальної амплітуди відфільтрованого сигналу та запис отриманих даних, з врахуванням похибок різної природи, у інтервальному вигляді $[U_{\max}^-; U_{\min}^+]$, що записуються сумісно із координатами (x, y) на хірургічній рані, які фіксуються на стерильній сітці.

Авторами праці [2] запропоновано метод побудови інтервальної моделі з допусковими еліпсоїдними оцінками параметрів для задачі візуалізації зворотнього гортанного нерва. Проте, такий підхід не гарантує, що знайдена область включає зворотній гортанний нерв. Для цих цілей необхідно використовувати методи гарантованого оцінювання.

Алгоритм побудови інтервальної моделі для задачі візуалізації зворотнього гортанного нерва в процесі хірургічної операції

Отримані під час операцій на щитовидній залозі оцінки амплітуди електричного струму заданої частоти представлено в інтервальному вигляді:

$$(x_i, y_i) \rightarrow [U_{\max i}^-; U_{\max i}^+] \quad i = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Структуру інтервальної моделі задано у вигляді лінійно-параметричної функції:

$$\hat{U}_{\max}(x, y) = b_0 + b_1 \cdot \varphi_1(x_i, y_i) + \dots + b_m \cdot \varphi_m(x_i, y_i). \quad (2)$$

На основі експериментальних даних, отриманих під час операцій, та структури інтервальної моделі (2) потрібно побудувати ІСЛАР у вигляді (3) і оцінити сумісність цієї системи [3].

$$U_{\max i}^- \leq b_0 + b_1 \cdot \varphi_1(x_i, y_i) + \dots + b_m \cdot \varphi_m(x_i, y_i) \leq U_{\max i}^+, \quad i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Одержані оцінки параметрів записуються у вигляді $[b_j^-, b_j^+]$, $j = 1, \dots, m$, де $b_j^- = \min_{\bar{b} \in \Omega} b_j$, $b_j^+ = \max_{\bar{b} \in \Omega} b_j$. Тоді коридор інтервальних моделей, за яким будуватиметься область на хірургічній рані, яка гарантовано включає зворотній гортанний нерв, матиме такий вигляд:

$$[\hat{U}_{\max}^-(x, y), \hat{U}_{\max}^+(x, y)] = [\bar{b}]^T \cdot \bar{\varphi}(x, y), \quad (4)$$

де $[\bar{b}] = ([b_1^-, b_1^+], \dots, [b_m^-, b_m^+])^T$ – інтервальний вектор, компоненти, якого знайдені на основі розв'язку ІСЛАР (3). Для розв'язування задачі локалізації запропоновано використати метод структурної ідентифікації, описаний у праці [4].

Реалізація алгоритму для конкретного прикладу

В ході пошуку структури лінійно-параметричної функції (3) на основі експериментальних даних, за описаним вище алгоритмом із використанням ППП INTERSTRUCT, розробленого авторами [5], було отримано структуру інтервальної моделі у вигляді (6).

$$U_{\max}(x, y) = b_0 + b_1 \cdot \sin^2(x \cdot y \cdot \frac{\pi}{36}) + b_2 \cdot y^2. \quad (5)$$

Оцінка розв'язку побудованої ІСЛАР для (5) дала можливість отримати інтервальну модель (коридор інтервальних моделей) із гарантованими інтервальними оцінками параметрів

$$[\hat{U}_{\max}(x, y)] = [7,26; 11,01] + [38,63; 55,3] \cdot \sin^2(x \cdot y \cdot \frac{\pi}{36}) + [0,17; 0,47] \cdot y^2. \quad (6)$$

Як видно із рис.1-а), максимальне значення амплітуди інформаційного сигналу, який визначає розміщення зворотнього гортанного нерва, знаходиться в межах, що визначаються «гребнями» нижньої та верхньої меж коридору. Мінімальний пороговий рівень амплітуди \bar{U}_{\min} інформаційного сигналу, який ймовірно ще може відповідати точці безпосереднього збудження гортанного нерва, відповідає мінімальному значенню на гребені функції для нижньої межі коридору інтервальних моделей і може бути обчислений за формулою (7)

$$\bar{U}_{\min} = \max \left\{ \min_{x_i} \max_{y_j} U(x_i, y_j), i=1, \dots, N, j=1, \dots, M; \max_{x_i} \min_{y_j} U(x_i, y_j), i=1, \dots, N, j=1, \dots, M \right\}. \quad (7)$$

На рис. 1-б) проілюстровано правило вибору вказаної точки - порогу (7). Тоді гарантовану область хірургічного втручання визначаємо за формулою:

$$\chi = \left\{ \bar{p} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \mid \hat{U}^+(x, y) \leq \bar{U}_{\min} \right\}. \quad (8)$$

На рис. 1-в) показано фрагмент гарантованої області хірургічного втручання (сірий фон), побудованої з використанням вище описаного методу на основі експериментальних даних.

Отже, описаний вище підхід дає можливість візуалізувати область безпечного хірургічного втручання.

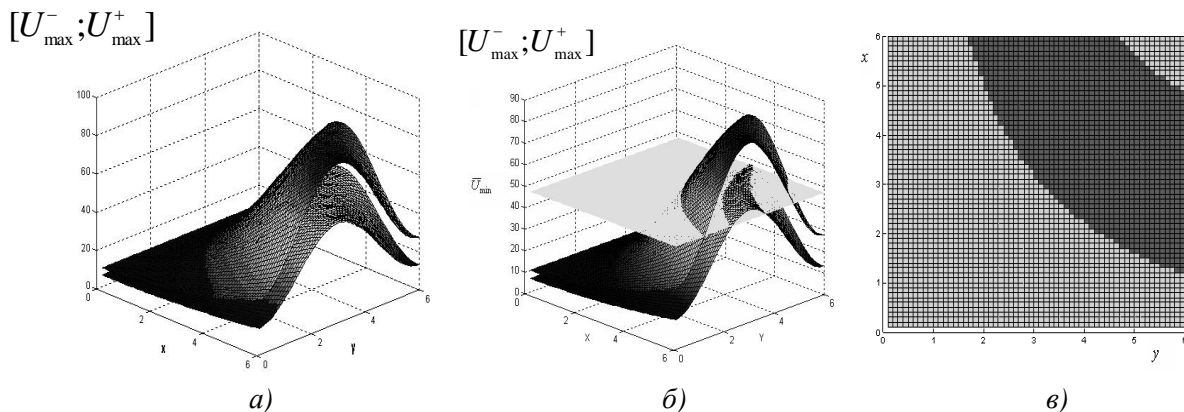


Рис.1. Візуалізація зворотнього гортанного нерва: а) – коридор інтервальних моделей; б) – вибір порогового значення амплітуди інформаційного сигналу; в) – фрагмент гарантованої області

Висновки

На основі відомого способу та технічних засобів запропоновано алгоритм побудови інтервальної моделі для задачі візуалізації зворотнього гортанного нерва, і при цьому отримано такі результати:

1. Проведено апробацію алгоритму отримання гарантованої оцінки області розміщення зворотнього гортанного нерва на хірургічній рані і підтверджено його працездатність.
2. Побудовано інтервальна модель з гарантованими інтервальними оцінками параметрів, яка уможливила візуалізацію гортанного нерва і зменшення ризику його пошкодження.

Література

1. Дивак М.П. Спосіб ідентифікації гортанного нерва з інших тканин хірургічної рани при проведенні хірургічних операцій на щитовидній залозі / Дивак М.П., Козак О.Л., Шідловський В.О. // Патент України на корисну модель №51174. Зар. 12.07.2010. Опубл. 12.07.2010. – Бюл.№13.
2. Дивак М.П. Застосування методів допускового еліпсоїдного оцінювання параметрів інтервальних моделей для задачі візуалізації гортанного нерва / Дивак М.П., Козак О.Л., Пукас А.В. // Вісник НУ “Львівська політехніка”. Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2010. – №680. – С. 196-206.
3. Дивак М.П. Обчислювальні аспекти методів локалізації розв’язків задач параметричного оцінювання в умовах обмежених похибок // Відбір та обробка інформації. – 2002. – №16 (92) – С. 43-47
4. Манжула В.І. Синтез генетичного алгоритму для задач структурної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем // Науково-технічний журнал “Вісник Хмельницького національного університету” – 2007. №1. – С.160-165.
5. Дивак М. Багатокритеріальний підхід структурної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем / Дивак М., Манжула В. // Міжнародний науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”, – 2005. №2. – С. 37-44.