

М. Купчак

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизованих систем управління

ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ЗВУКІВ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ ПРИ СПОВІЛЬНеноМУ ТЕМПІ МОВЛЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ПРИГОЛОСНИХ ЗВУКІВ

© Купчак М., 2011

На прикладі приголосних звуків української мови проаналізовано використання ФТП окремо як для прискорення, так і для сповільнення темпу мовлення, а також досліджено можливості використання розроблених ФТП для задач сповільнення темпу мовлення.

Ключові слова: приголосні звуки, афrikати, щілинні, функція темпорального перетворення (ФТП).

It was analyzed in the article the use of TTF separately for acceleration examples and deceleration of speech rate, as based on the consonants in the ukrainian language. The peculiarities of designed TTF for speech rate problems deceleration were also researched in this paper.

Keywords: consonants, affricates, whispers, temporal transformation functions (TTF).

Вступ

Серед важливих і складних задач обробки мовних сигналів особливе місце займає задача трансформації часової структури мовних сигналів. Проблема забезпечення можливостей мовної інформації при значному коефіцієнті сповільнення темпу мовлення є особливо актуальною в задачах логопедії, при вивченні іноземних мов, при стенографуванні та друкуванні, у судово-криміналістичній експертизі.

Природні процеси зменшення темпу мовлення характеризуються специфічними закономірностями перетворень структур звуків. Запропоновані для цього Ю.М. Рашкевичем підходи – адаптивні технології перетворення часового масштабу мовних сигналів, передбачають використання функцій темпоральних перетворень, що містять інформацію щодо внутрішньої будови окремих класів звуків і ступінь зміни тривалостей цих ділянок залежно від заданого коефіцієнта зміни темпу мовлення [1].

Проте перетворення внутрішньої структури приголосних звуків української мови при сповільненому темпі мовлення значно відрізняється від перетворень у задачах прискорення та вимагає додаткових досліджень.

Метою роботи є дослідження на прикладі приголосних звуків української мови, часових показників (тривалостей) звукових ділянок приголосних звуків окремо для випадків прискорення і сповільнення темпу мовлення та аналіз можливості використання розроблених ФТП для задач сповільнення темпу мовлення.

Експериментальні дослідження

На основі статистичного аналізу часової структури звукових одиниць української мови при різних темпах мовлення для задач сповільнення темпу виділяють такі класи звуків (голосні під наголосом, ненаголошені голосні, афrikати та щілинні приголосні, носові та сонорні приголосні і вибухові звуки [2]).

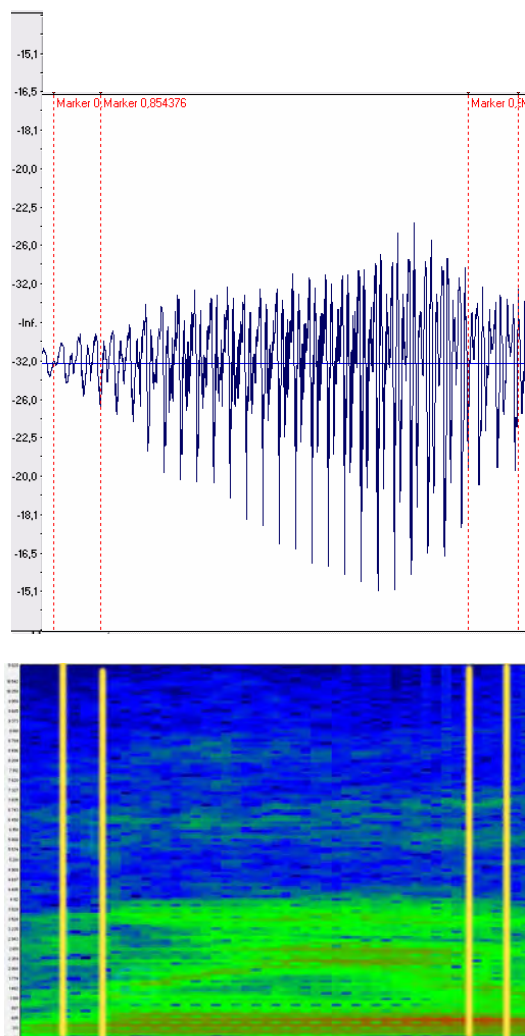


Рис. 1. Динамічна спектограма приголосного звуку у нормальному темпі

Приголосні звуки – звуки української мови [3], в основу яких покладено шум з більшою чи меншою домішкою музикального тону. Сильною позицією для приголосних фонем є їх позиція перед голосними або в кінці слова. У цих позиціях розрізняють 32 приголосні фонemi: б, п, м, в, ф, д, д', т, т', з, з', с, с', ц, ц', л, л', н, н', р, р', дз, дз', ж, ш, дж, ч, й, к, х, г, ґ. За своїм артикуляційним утворенням та структурною різноманітністю вони є набагато складнішими від голосних звуків.

За внутрішньою структурою приголосні звуки можуть бути поділені на три основні ділянки: перший перехід – перехід від попереднього звуку, стаціонар – приголосна частина звуку, другий перехід – перехід до наступного звуку. На рис. 1 наведено хвильовий сигнал та динамічну спектограму приголосного звуку, в яких виділені три сегментні ділянки.

Для проведення статистичних досліджень сформовано словник із 60 слів. Звуковий матеріал промовлявся у 4-х темпах (повільний, нормальний, пришвидшений, швидкий) у випадку прискорення, та в 4-х темпах мовлення (швидкий, нормальний, повільний, протяжний) для сповільнення. Визначення тривалостей приголосних звуків загалом та їх складових ділянок проводилися на основі комбінованого використання прослуховування та динамічних спектограм. Середні довжини тривалостей ділянок приголосних звуків наведені у табл. 1.

Співвідношення для сповільненого темпу мовлення ставило : нормальний/шв. - 1,5; повільний/шв. – 2,23; протяжн./шв.- 2,52 та для прискорення : повільний/норм.- 1,13; повільний/пришвидшений – 2,05; повільний/шв.- 1,56.

Середні значення довжин структурних ділянок приголосних звуків

Клас звуків	Ділянка звуку	Довжини ділянок, мс							
		Прискорення				Сповільнення			
		Повільн.	Норм.	Пришв.	Шв.	Шв.	Норм.	Повільн.	Протяжн.
Приголосні звуки	перший перехід	9,5	7	4	2,5	6	9,6	10,3	11,4
	стаціонар	68,3	65	48	37,8	50	69,6	113,8	129,5
	другий перехід	12,7	8	6	3,8	8,6	18	21,0	22,4

Відносне збільшення тривалостей (ВЗТ) структурних ділянок приголосних звуків у кожному із темпів мовлення наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Відносна зміна тривалостей приголосних звуків при зміні темпу мовлення

Клас звуків	Ділянки звуку	Темп мовлення, коефіцієнт сповільнення							
		Прискорення				Сповільнення			
		Повільн.	Норм.	Пришв.	Шв.	Шв.	Норм.	Повільн.	Протяжн.
		1	1,13	2,05	1,56	1	1,5	2,23	2,52
Приголосні звуки	перший перехід	1	1,35	2,37	3,8	1	1,6	1,7	1,9
	стаціонар	1	1,39	1,42	1,8	1	1,39	2,27	2,59
	другий перехід	1	2,09	2,1	2,1	1	2,09	2,4	2,6

Аналіз результатів експериментів

Для наочнішого представлення характеру змін, що відбуваються у внутрішній структурі приголосних звуків в процесі зміни темпу мовлення, будемо функцію відносної зміни тривалості (ФВЗТ); ця функція відображає залежність часу звучання звуку від величини загального коефіцієнта сповільнення темпу мовлення, що дає змогу визначити зміну тривалостей приголосних звуків у 4-х базових темпах мовлення, на основі яких можна побудувати інтерполяційний поліном третього степеня.

$$S^{(j)} = S^{(j)}(k) = a_3^{(j)}k^3 + a_2^{(j)}k^2 + a_1^{(j)}k + a_0^{(j)}, \quad (1)$$

де a_n ($n = \overline{0,3}$) – коефіцієнт кубічного полінома функції елементів j -го класу, $j = \overline{1,k}$

Для побудови ФВЗТ задано $(m+1)$ вузлових точок значень загального коефіцієнта зміни темпу k , для яких відомі значення відносної зміни тривалостей (ВЗТ) $S^{(j)}$ кожного із k темпоральних класів (табл. 2).

Значення коефіцієнтів всіх інтерполяційних поліномів наведено у табл. 3.

Розрахунки коефіцієнтів здійснювались за даними табл. 2 на основі формули інтерполяційного полінома Лагранжа:

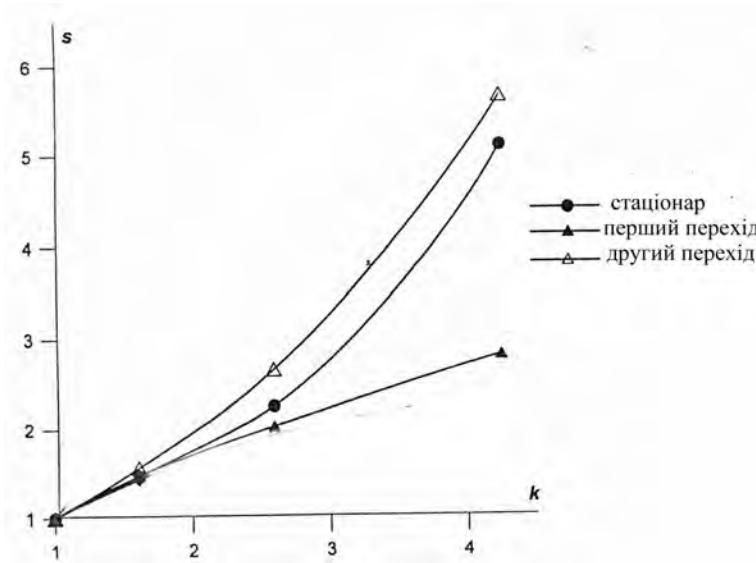
$$S_i^{(j)}(k) = \sum_{i=0}^3 S_i^{(j)} L_i(k), \quad (2)$$

де $S_i^{(j)} = S^{(j)}(k)$ – значення ВЗТ звуків класу j у i -й вузловій точці ($k = k_i$), $L_i(k)$ – коефіцієнт Лагранжа, що задається співвідношенням [4]:

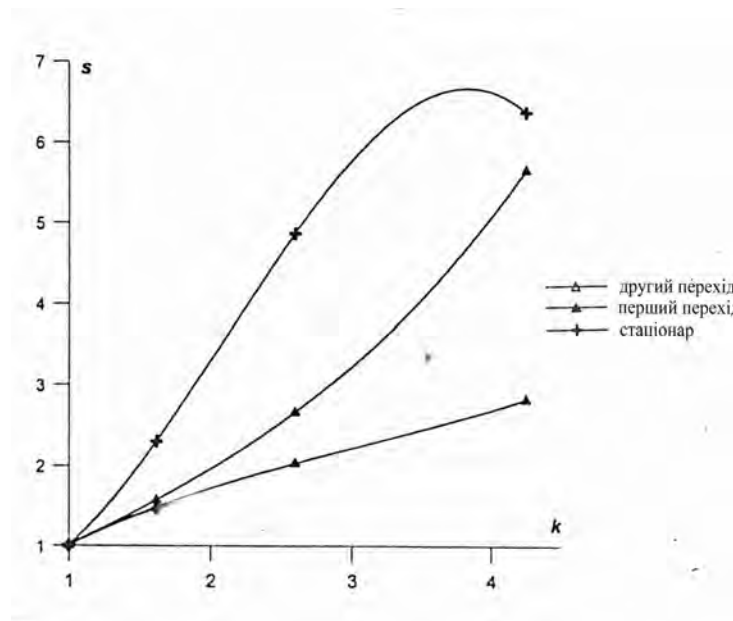
$$L_i(k) = \frac{(k - k_0)(k - k_1)\dots(k - k_{i-1})(k - k_{i+1})\dots(k - k_3)}{(k_i - k_0)(k_i - k_1)\dots(k_i - k_{i-1})(k_i - k_{i+1})\dots(k_i - k_3)} \quad (3)$$

$$i = \overline{0,3}$$

На рис. 2 зображено криві ФВЗТ на основі полінома Лагранжа.



а



б

Рис. 2. Побудова кривих ФВЗТ на основі Полінома Лагранжа:
а – у випадку прискорення; б – у випадку сповільнення

На основі цих графіків можна зробити висновки про принципові відмінності у темпоральній поведінці приголосних звуків при сповільненому та прискореному темпах мовлення, що особливо помітно при великих коефіцієнтах зміни темпу мовлення k .

При сповільненому темпі мовлення криві ФВЗТ несуть нелінійний характер. У всіх темпах довжини перехідних ділянок характеризуються великою варіативністю значень. Тривалості других переходів значно довші за тривалості перших, найбільших змін зазнає стаціонарна ділянка, тривалість якої збільшилась у 4 рази.

Коефіцієнти інтерполяції ФВЗТ на основі полінома Лагранжа

Клас звуків	Ділянки звуку	Коефіцієнти полінома							
		Прискорення				Сповільнення			
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_0	a_1	a_2	a_3
Приголосні звуки	перший перехід	-0,557	1,157	-0,704	-0,301	0,026	1,622	-0,195	0,045
	стаціонар	0,026	2,185	-0,297	0,077	0,084	0,987	-0,117	0,105
	другий перехід	-0,122	1,387	-0,195	0,031	-0,194	1,157	-0,533	0,012

У процесі трансформації (рис. 2, а) внутрішньої структури приголосних звуків у прискореному темпі мовлення значною мірою зберігаються обидві перехідні ділянки, проте значне скорочення відбувається за рахунок стаціонарної частини.

На основі проведених досліджень щодо внутрішньої структури приголосних звуків української мови у сповільненому та прискореному темпах мовлення з'ясовано, що існують значні відмінності у процесах зміни внутрішньої структури приголосних звуків, що вимагає розроблення окремих функцій темпоральних перетворень для процесів прискорення та сповільнення темпів.

За допомогою методики побудови функцій темпоральних перетворень для задач сповільнення темпу мовлення [5] побудуємо ФТП для приголосних звуків української мови.

Алгоритм містить такі етапи:

1) на основі алгоритму, розробленому в [2], визначається клас звуку, виділяються його границі та визначається тривалість (задається кількістю елементарних сегментів);

2) на основі відповідної ФТП визначаються початкові та кінцеві елементарні сегменти кожної із трьох внутрішніх ділянок приголосного звуку та тривалості l_{in} цих ділянок;

3) визначаються тривалості кожної із ділянок звуку після перетворення (l_{out}), які забезпечують загалом заданий коефіцієнт зміни темпу β ;

4) в точках, що відповідають центрам кожної із ділянок, вноситься необхідної довжини ($l_{out} - l_{in}$) надлишковий сигнал.

Довжина ФТП нормується від 0 до 1, а тривалість виділеного звуку визначеного класу задається кількістю елементарних сегментів довжиною 5 мс.

ФТП приголосних звуків, які складаються із трьох ділянок, описуються вектором $F = (x_1, x_2, k_1, k_2, k_3)$, де x_1 та x_2 визначають внутрішні границі між ділянками приголосного, а коефіцієнти k_1, k_2, k_3 – ступінь збільшення тривалості кожної із ділянок в процесі сповільнення темпу мовлення. Величини x_1 та x_2 визначаються на основі усереднених статистичних даних, наведених у табл. 1. Для приголосного звуку ці значення дорівнюють $x_1=0,64$, $x_2=0,85$, (x_1 та x_2 визначені для нормального темпу мовлення). Для визначення коефіцієнтів k_1, k_2, k_3 побудовані графіки залежності значень k_i від коефіцієнта зміни темпу β .

За формулою визначаємо ділянки до i після перетворення:

$$l_{out} = \text{entier}((l_{in} + 0,5)k_i) \quad (4)$$

Із графіка видно (рис. 3), що ця залежність описується лінійною функцією за формулою:

$$k_i = a_i \beta - b_i \quad (5)$$

де (a_i, b_i) набір величин для коефіцієнта k_i .

Для приголосних звуків вказані величини набувають значення: $a_1 = 0,6$; $b_1 = 1$; $a_2 = 1,6$; $b_2 = 2,6$; $a_3 = 0,6$; $b_3 = 1,6$.

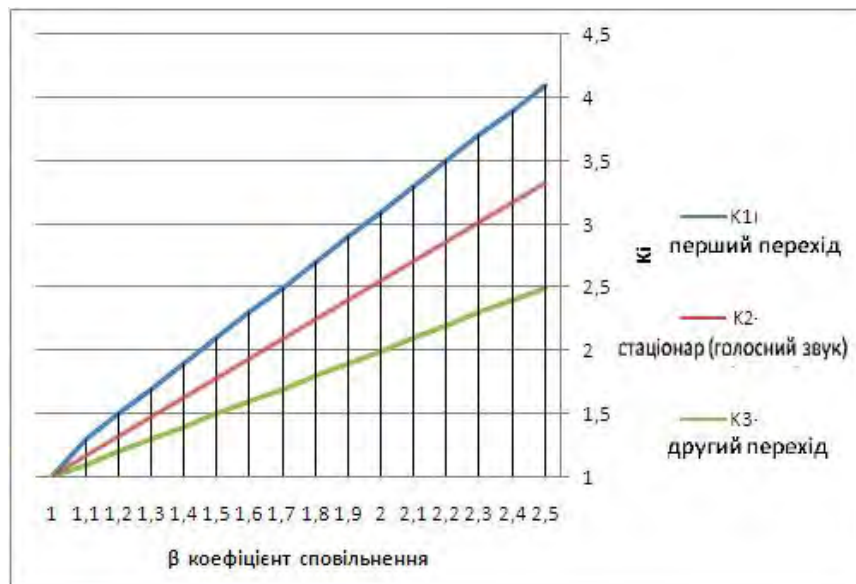


Рис. 3. Залежності коефіцієнтів зміни тривалостей ділянок приголосного звуку від коефіцієнта регулювання темпу мовлення

Отже, функція темпоральних перетворень приголосних звуків української мови описується виразом:

ФТП приголосного звуку $F_T = (0,64; 0,85, (0,6; 1), (1,6; 2,6), (0,6; 1,6))$.

Висновки

Статистичні дослідження зміни внутрішньої структури приголосних звуків української мови в процесах прискорення та сповільнення показують, що незважаючи на деякі спільні особливості загалом існує значна відмінність між процесами зміни внутрішньої структури цих звуків, що свідчить про необхідність розроблення окремих функцій темпоральних перетворень для процесів прискорення та сповільнення приголосних звуків при застосуванні технологій адаптивних перетворень часової структури мовного сигналу в задачах перетворення темпу мовлення.

На основі методики побудови ФТП для сповільнення темпу мовлення [5] розроблені відповідні функції темпоральних перетворень для приголосних звуків української мови.

1. Рашкевич Ю.М. Перетворення часового масштабу мовних сигналів. – Львів: Академічний експрес, 1997. – 140 с.
2. Купчак М.І., Виділення підкласів невокалізованих приголосних у задачах сповільнення темпу мовлення // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – №672. – 2010. – С. 323–325.
3. Тоцька Н.І. Голосні фонемі української мови. – К.: Вид-во Київського університету, 1973. – 158 с.
4. Ильин В.А., Позняк Є.Г. Основы математического анализа. Ч.1,2. – М.: Наука, 1971. – С. 45–48.
5. Купчак М., Фігура Р. Функції темпоральних перетворень польських дифтонгів для задач сповільнення темпу мовлення // IV Міжнародна науково-технічна конференція Комп’ютерних наук та інженерії (CSE 2010), Львів, Україна. – С. 94–95.
6. Шиманьскі З. Адаптивні технології перетворення тривалості звуків польської мови: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів, 2007. – 18 с.