

SUBIEKTYWNA POPRAWA ODBIORU DŹWIĘKÓW PRZEZ PACJENTÓW W WARUNKACH HAŁASU: SZYBKA JEDNOMIKROFONOWA REDUKCJA HAŁASU

Jason A. Galster, Ph.D. & Justyn Pisa, Au.D.

Wprowadzenie

Dla osób z upośledzeniem słuchu największym utrudnieniem jest odbiór dźwięków w hałaśliwym otoczeniu (Plomp, 1994; Kochkin, 2002). Z tego względu ważnym celem producentów aparatów słuchowych jest poprawa zadowolenia pacjenta podczas przebywania w hałaśliwym otoczeniu. W naszej pracy przedstawiamy Voice iQ, nowy algorytm cyfrowej redukcji szumu (DNR - Digital Noise Reduction), zaimplementowany w aparatach słuchowych linii S Series™ iQ firmy Starkey. Voice iQ, oryginalne opracowanie Centrum Badań Słuchu Starkey, było oceniane w licznych badaniach laboratoryjnych i klinicznych. Z badań tych uzyskano dwa wyniki: po pierwsze, upewniono się, że agresywna redukcja szumu stosowana w Voice iQ nie obniża jakości mowy i nie zmniejsza możliwości jej rozumienia, po drugie zaś, wykazano poprawę łatwości słuchania w hałasie.

Przegląd piśmiennictwa wykazuje, że algorytmy DNR mogą poprawiać komfort i jakość dźwięku odbieranego w hałaśliwym otoczeniu (Bentler i Chiou, 2006; Mueller, Weber i Hornsby, 2006; Ricketts i Hornsby, 2005). Słuchacze mogą ponadto doświadczać uczucia zmniejszenia wysiłku słuchowego dzięki wykorzystaniu DNR do słuchania w hałasie (Sarampalis, Kalluri, Edwards, Hafter, 2009). Sarampalis i wsp. zwracają uwagę, że zmniejszenie wysiłku słuchowego dzięki zastosowaniu algorytmu DNR może poprawić zdolność pacjenta do skupiania się na zadaniu wtórnym. Hipoteza ta wywodzi się z teorii stanowiącej, że uwaga jest utrzymywana przez pojedyncze, określone źródło poznawcze (Baddeley, 1998). Innymi słowy, algorytm DNR może sprzyjać poprawie rozpoznawania mowy w hałasie, aczkolwiek badania w tym obszarze sugerują, że pacjenci mogą doświadczać, poprawy, obniżenia lub braku zmian w zakresie rozumienia mowy, zależnie od warunków, w których prowadzono doświadczenie (Galster & Ricketts, 2004; Mueller et al., 2006). Widoczny brak zgodności w piśmiennictwie podkreśla fakt, że poprawa rozumienia mowy pozostaje trudno osiągalnym celem DNR. Jednak ze względu na to, że nowoczesne algorytmy DNR zmniejszają moc wyjściową dźwięku w celu utrzymania hałasu na znośnym poziomie, źle opracowany algorytm zagraża degradacją dźwięków mowy i ograniczeniem jej słyszalności.

Sposób działania cyfrowej redukcji szumów

Tradycyjne algorytmy DNR dokonywały obróbki mowy i szumu w systemie binarnym. Jeśli zakłócenia stanowią dominantę sygnału w kanale aparatu słuchowego, tradycyjny algorytm ogranicza wzmocnienie w tym kanale o określoną wartość; w przypadku, gdy w kanale tym dominuje sygnał mowy, wstępnie ustawione wzmocnienie nie jest zmieniane. Jeśli czas odpowiedzi algorytmu DNR jest długi, jest on nieaktywny w obecności mowy, a działa wyłącznie przy wysokim poziomie hałasu. Voice iQ korzysta z technologii wyszukiwania głosu, umożliwiającej niemal natychmiastową klasyfikację sygnału jako mowy lub niepożądanego zakłócenia.

Szybka i precyzyjna identyfikacja mowy umożliwia Voice iQ analizę i adaptację z szybkością dostatecznie dużą, by uzyskać redukcję segmentów zakłóceń wewnątrz sekwencji mowy, wewnątrz poszczególnych zdań.

Na rycinie 1 zobrazowano szum (czerwony) nakładający się na mowę (czarny). Voice iQ wykorzystuje liczne wskazówki, takie jak odstęp sygnału od szumu, średni poziom i modulacja sygnału, w celu klasyfikacji środowiska akustycznego. Mowa jest zespołem silnie modulowanych dźwięków, podczas gdy szum ma z natury charakter bardziej stabilny. Modulacja mowy pozwala Voice iQ rozpoznać hałas, gdy zaczyna dominować w sygnale podczas przerw pomiędzy segmentami mowy. Gdy szum zostaje rozpoznany w którymś kanale, wzmocnienie tego kanału jest szybko zmniejszane i zwiększane ponownie, gdy tylko powraca sygnał mowy - tego rodzaju reakcję przedstawiono na rycinie 2. W przypadku szybko działających algorytmów DNR, jak Voice iQ, należy przywiązywać szczególną uwagę do unikania redukcji dźwięków mowy.

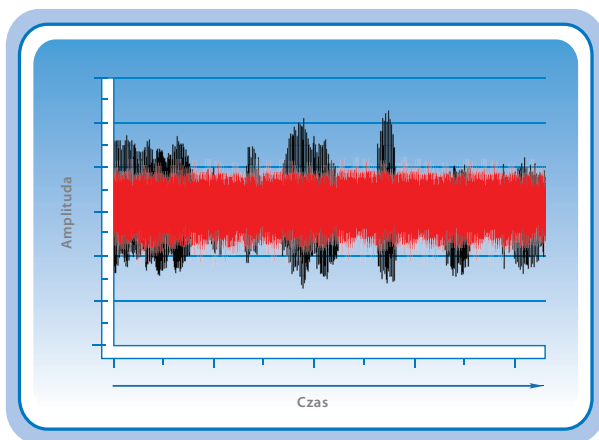
Ocena algorytmów cyfrowej redukcji szumów

Opracowany w Centrum Badań Słuchu Starkey, Voice iQ poddany został w procesie badawczo-rozwojowym szeregowi badań jakości dźwięku. Poszczególne parametry algorytmu dostosowano do preferencji słuchowych pacjentów oraz w celu uzyskania właściwego oddziaływania na szum obecny w przerwach pomiędzy dźwiękami mowy. Te wczesne badania ukończono przed wdrożeniem Voice iQ do użytku w aparatach słuchowych. Dzięki przeprowadzeniu wczesnych etapów rozwoju poza platformą aparatów słuchowych, łatwo było wprowadzić odpowiednie korekty parametrów. Po ustaleniu wartości zapewniających sukces w warunkach laboratoryjnych, przyszedł czas na kliniczną weryfikację Voice iQ w aparatach słuchowych S Series iQ.

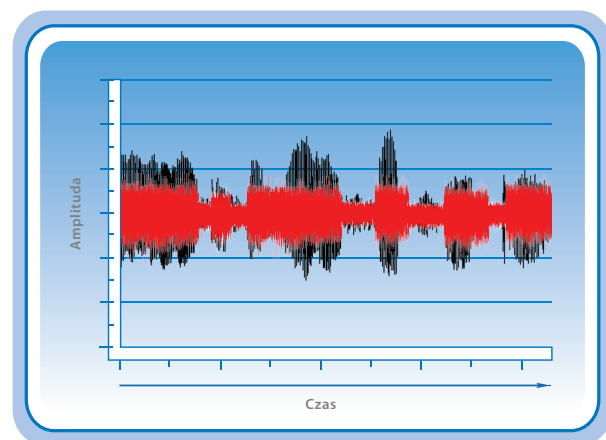
Skuteczność implementacji Voice iQ do aparatów słuchowych S Series iQ oceniono w systematycznym badaniu klinicznym. W badaniu wzięło udział 44 pacjentów z ubytkiem słuchu. Szczegółowe wyniki tego badania zostaną zaprezentowane przez Pię, Burka i Galstera (w druku). W ich badaniu stwierdzono, że aparaty słuchowe S Series iQ istotnie poprawiły zdolność do tolerowania przez pacjentów hałaśliwego otoczenia. Uczestnicy badania donosili także o ograniczeniu wysiłku słuchowego, ocenianego w skali DOSO (Device-Oriented Subjective Outcome Scale - zorientowana na urządzenie skala wyników subiektywnych) (Cox, Alexander & Xu, 2009), poprzez porównanie badanych urządzeń z noszonymi przez pacjentów na co dzień.

Ochrona mowy w hałasie

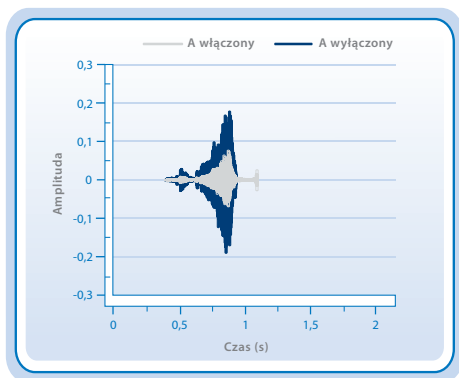
System przeznaczony do obniżania zakłóceń w przerwach sygnału mowy musi również zapewniać zachowanie jego integralności. Ponieważ modulacja mowy za-



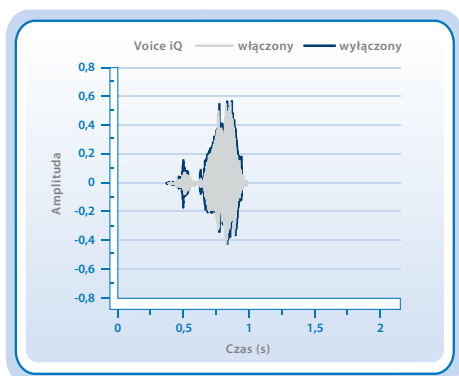
Rycina 1. Sygnał szumu (czerwony), nakładający się na sygnał mowy (czarny)



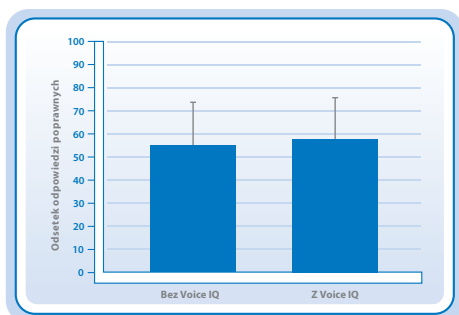
Rycina 2. Sygnał szumu (czerwony), nakładający się na sygnał mowy (czarny). Ilustracja obrazuje działanie Voice iQ, obniżające poziom szumu w przerwach sygnału mowy.



Rycina 3. Dwa wykresy sygnału mowy – ciemny to sygnał przetworzony przez aparat słuchowy bez redukcji szumów, jasny to sygnał przetworzony przy użyciu jednego z dostępnych na rynku systemów cyfrowej redukcji szumu. Oba zostały wydzielone z tła przy użyciu metody Hagermana i Olofssona (2004). Jasny wykres wykazuje niekorzystny wpływ działania algorytmu odszumiania na sygnał mowy



Rycina 4. Dwa wykresy sygnału mowy – ciemny to sygnał przetworzony przez aparat S Series iQ bez redukcji szumu, zaś jasny – przez ten sam aparat z włączoną funkcją Voice iQ. Oba zostały wydzielone z tła przy użyciu metody Hagermana i Olofssona (2004). Jasny wykres wykazuje minimalny wpływ zakłócający algorytmu odszumiania Voice iQ na sygnał mowy



Rycina 5. Odsetek poprawnych odpowiedzi w teście sylab nonsensownych (NST) z włączonym i wyłączonym systemem Voice iQ

chodzi w okresie rzędu milisekund, jest to nietatwe zadanie. Jeśli w przerwach między dźwiękami mowy zmniejszono wzmocnienie sygnału, jego ustawiony poziom musi zostać przywrócony w momencie powrotu sygnału mowy. Niestarannie opracowany algorytm może nie dość dokładnie śledzić modulację dźwięków mowy, zaburzając integralność jej sygnału. Głównym celem podczas projektowania Voice iQ było zapewnienie ochrony tych dźwięków podczas agresywnej redukcji szumu. Do zilustrowania możliwości systemu Voice iQ w zakresie ochrony dźwięków mowy wykorzystano elektroakustyczny system analiz porównawczych opracowany przez Hagermana i Olofssona (2004). W tej metodzie oceny możliwe jest wydzielenie mowy z szumów tła po opracowaniu przez algorytm cyfrowej redukcji szumów. Dla celów niniejszej pracy, uzyskane wykresy przebiegów wykorzystano do jakościowego zilustrowania przykładów, jak obecnie zaimplementowane w aparatach słuchowych cyfrowe algorytmy redukcji hałasu mogą zniekształcać lub osłabiać mowę odbieraną na tle hałasu z otoczenia.

Metoda badawcza, opracowana przez Hagermana i Olofssona (2004), została opisana w następującym cytacie z ich publikacji: "Nasze podejście polega na jednoczesnym przedstawieniu mowy i szumu i dokonaniu dwóch pomiarów, w tym jednego przy odwróconej fazie szumu. Zsumowanie lub odjęcie odpowiednich sygnałów wyjściowych pozwala na wyodrębnienie sygnału mowy i szumu. W ten sposób można wyliczyć wzmocnienie każdego z nich, mimo że obecne są w tym samym czasie i wpływają na obróbkę sygnału w aparacie słuchowym w zwykły sposób (str. 356).

Na rycinach 3 i 4 pokazano wykresy wyodrębnione z szumów tła za pomocą metody pomiarów porównawczych Hagermana i Olofssona. Na rycinie 3 pokazano efekt działania szybkiego algorytmu redukcji szumów, dostępnego obecnie w urządzeniach wiodącego producenta aparatów słuchowych, który wykorzystano do obróbki sygnału mowy i szumu. Dobrze widoczne jest ograniczenie szczytów sygnału mowy przez algorytm redukcji szumów. Na rycinie 4 przedstawiono efekt obróbki tego samego sygnału za pomocą algorytmu Voice iQ. Brak różnic pomiędzy niebieskim i szarym wykresem świadczy o skuteczności Voice iQ w zakresie utrzymania integralności sygnału mowy, przy jednoczesnym skutecznym ograniczeniu poziomu szumów.

Istotne było wsparcie wyników elektroakustycznej oceny Voice iQ perceptualnymi metodami badania rozumienia mowy. Na 44 dorosłych osobach z upośledzeniem słuchu, po zaopatrzeniu ich w aparaty słuchowe S Series iQ, przeprowadzono test ciągów sylab nonsensownych (NST) (Resnick, Dubno, Hoffnung & Levitt, 1975), którego wyniki pokazano na rycinie 5. Średnia skuteczność grupy bez Voice iQ wyniosła 54,1% odpowiedzi poprawnych, zaś z aktywowanym Voice iQ – 55,4%, co daje 1,3% różnicę. W jednokierunkowej powtarzanej analizie wariancji z poprawką Bonferroniego dla porównań wielokrotnych wykazano, że różnica ta nie jest istotna statystycznie ($p > 0,05$); brak znamienności różnicy wskazuje, że nawet przy ocenianiu łatwo degradowalnych wysokoczęstotliwościowych składników mowy Voice iQ zachowuje integralność sygnału mowy.

Podsumowanie

Dane zebrane od ponad 40 osób z upośledzeniem słuchu, biorących udział w badaniu, pokazały zalety Voice iQ i aparatów słuchowych S Series iQ. W oparciu o te wyniki, technicy dopasowujący aparaty S Series iQ mogą spodziewać się poprawy komfortu słuchowego u ich pacjentów i zwiększonej łatwości słuchania w hałasie, bez pogorszenia percepcji mowy.

Dokumentowanie i zrozumienie korzyści z cyfrowej redukcji szumów od lat stanowiło wyzwanie dla branży aparatów słuchowych. Zestaw nowych danych, zgromadzonych na temat Voice iQ i rodziny aparatów S Series iQ pomaga w ustaleniu wymagań klinicznych dla nowoczesnych systemów cyfrowej redukcji szumu. Poprzez zapewnienie integralności mowy, przy udokumentowaniu preferencji i korzyści dla pacjenta, Voice iQ stanowi paradygmat projektowania prowadzonego w oparciu o dowody naukowe.

Podziękowania

Pragniemy podziękować Matthew Burkowi, Elizabeth Galster, Laurel Gregory, Ivo Merksowi i Tao Zhangowi za przeprowadzenie badań i zgromadzenie danych będących podstawą dla informacji zawartych w niniejszej publikacji.

Piśmiennictwo

- Baddeley, A. D. (1998). The central executive: A concept and some misconceptions. *Journal of the Neuropsychological Society*, 4, 523–526.
- Bentler, R., & Chiou, L.K. (2006). Digital noise reduction: An overview. *Trends in Amplification*, 10(2), 67–82.
- Cox, R.M., Alexander, G.C., & Xu, J. (2009). "Development of the Device Oriented Subjective Outcome Scale (DOSO)." Refereed poster presented at the Annual Meeting of the American Auditory Society, Scottsdale, AZ, March 2009.
- Galster, J.A., & Ricketts, T.A., (2004). "The effects of digital noise reduction time constants on speech recognition in noise." Poster presented at the International Hearing Aid Convention. Lake Tahoe, CA, September 2004.
- Hagerman, B., & Olofson, A. (2004). A method to measure the effect of noise reduction algorithms using simultaneous speech and noise. *Acta Acustica*, 90, 356–361.
- Kochkin, S. (2002). 10-Year Customer Satisfaction Trends in the US Hearing Instrument Market. *Hearing Review*, 9(10), 14–25, 46.
- Mueller, G.H., Weber, J., & Hornsby, B.W.Y. (2006). The effects of digital noise reduction on the acceptance of background noise. *Trends in Amplification*, 10(83), 83–93.
- Pisa, J., Burk, M., & Galster, E. (In Press). Evidence based design of a noise management algorithm. *The Hearing Journal*.
- Plomp, R. (1994). Noise, amplification, and compression: Considerations of 3 main issues in hearing-aid design. *Ear and Hearing*, 15, 2–12.
- Resnick, S.B., Dubno, J.R., Hoffnung, S., & Levitt, H. (1975). Phoneme errors on a nonsense syllable test. *Journal of the Acoustical Society of America*, 58, 114.
- Ricketts, T.A., & Hornsby, B.W.Y. (2005). Sound quality measures for speech in noise through a commercial hearing aid implementing digital noise reduction. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(5), 270–277.
- Sarampalis, A., Kalluri, S., Edwards, B., & Hafter, E. (2009). Objective measures of listening effort: Effects of background noise and noise reduction. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 52, 1230–1240.