



**Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)**

Department of Electrical Engineering

M.Sc Thesis

**Design a Signal Processor in Cochlear Implant
Microsystem**

**By
Amin Armin**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

September 2023



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

(گرایش الکترونیک - مدارهای مجتمع آنالوگ)

عنوان پایان نامه:

طراحی پردازنده سیگنال در زیرسامانه کاشت حلزون گوش

نام دانشجو:

امین آرمین

استاد راهنما

دکتر محمد یاوری

شهریور ۱۴۰۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ:

اینجانب امین آرمین متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

در صفحه تعهدنامه اصالت اثر، در قسمت بالا سمت چپ، تاریخ دفاع خود را جایگزین تاریخ نوشته شده کنید.

همچنین در صفحه تعهدنامه اصالت اثر، در خط اول، نام و نام خانوادگی خود را به صورت کامل با نام و نام خانوادگی نمونه، جایگزین کنید. در انتهای متن تعهد، در قسمت امضا نیز باید نام و نام خانوادگی کامل خود را وارد نماید.

امین آرمین

امضا

تقدیم به:

با تمام وجودم، این پایان نامه را تقدیم می کنم
به روح پدر بزرگ و مادر بزرگ عزیزم که گرچه دیگر بین ما حضور ندارند، اما همچنان به عنوان ستاره هایی
در آسمان خاطراتم می درخشند. آنها همواره در وجود من زنده اند و امید و انگیزه را درون من می پروراندند.
هم چنین با کمال احترام و عشق، این پایان نامه را به پدر و مادر و خواهر عزیزم که در تمامی مراحل تحصیل
همیشه پشتیبان و دلسوز و مشوق من بوده اند، تقدیم می کنم. شما برایم نوری هستید که در هر لحظه از
زندگی ام می تابید و با انرژی مثبت، راه درست را برای من روشن می کنید.

تشکر و قدردانی:

وظیفه خود می‌دانم از تمام کسانی که در به‌ثمر رسیدن این پایان‌نامه من را یاری نموده و خالصانه و دلسوزانه در این مسیر من را حمایت کردند، تشکر کنم.

استاد راهنمای عزیز و گران‌قدر جناب آقای دکتر محمد یآوری که درس‌های زیادی از ایشان آموختم و به هنگام نیاز برای حل مشکلات اینجانب از هیچ کمکی دریغ نورزیدند. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سربلندی را دارم.

چکیده

سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۲۱ تخمین زد که تقریباً ۷ درصد از جمعیت جهان (۰.۵ میلیارد نفر) دچار کم‌شنوایی شده‌اند. کاشت حلزونی به‌عنوان موفق‌ترین پروتز عصبی و تنها درمان پزشکی برای بازگرداندن بخشی از شنوایی بیماران مبتلا به ناشنوایی شدید شناخته می‌شود. یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم کاشت حلزونی گوش، بلوک پردازنده سیگنال است که وظیفه دریافت اطلاعات از میکروفون و تقسیم فرکانسی و پردازش بر روی اطلاعات و در نهایت ارسال آن‌ها به سمت حس‌گرهای عصبی گوش می‌باشد. در این پایان‌نامه، یک الگوریتم پیشرفته برای پردازش سیگنال صوت با هدف‌های چندگانه معرفی شده است. هدف اصلی این الگوریتم، ساده‌سازی و قرار دادن قابلیت حالت خواب برای بلوک‌های بعدی است که منجر به کاهش مصرف انرژی سیستم کلی می‌شود. این ویژگی کمک می‌کند تا در آینده کاشت کامل درون گوش انجام شود که در چند سال گذشته جزو اهداف مهم در زمینه کاشت حلزونی گوش شناخته می‌شود. همچنین، این الگوریتم تلاش می‌کند تا با استفاده از استخراج بهتر اطلاعات فاز، قابلیت بهبود ادراک صوت در حضور نویز و سرصدا، تشخیص بهتر موسیقی و تمایز زبان‌های آوا را فراهم کند. این استراتژی، اطلاعات فاز را براساس شناسایی نقاط قله و دره استخراج می‌کند که به عنوان بهترین روش در این زمینه معرفی می‌شود. شبیه‌سازی‌ها در محیط سیمولینک متلب انجام شده و ضریب همبستگی به عنوان یک معیار کمی برای مقایسه استفاده شده است. هم چنین بهبود عملکرد الگوریتم معرفی شده با الگوریتم شناخته شده مدولاسیون دلتا ناهمزمان تایید می‌شود. همچنین، شبیه‌سازی مداری در تکنولوژی ۱۸۰ نانومتر در کیدنس نیز انجام شده و عملکرد این شبیه‌سازی با خروجی شبیه‌سازی در متلب اثبات می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم معرفی شده در این پایان‌نامه عملکرد خوبی دارد و در مقایسه با الگوریتم‌های شناخته شده دیگر، بهبود قابل توجهی را ارائه می‌دهد. همچنین، ضریب همبستگی و تطابق عملکرد با شبیه‌سازی‌های مداری و سیمولینک متلب نشان می‌دهد که الگوریتم معرفی شده در این پایان‌نامه تصدیق شده است و به خوبی عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی:

کاشت حلزونی گوش، پردازنده سیگنال صوت، استخراج دامنه و فاز، درک صوت

صفحه	فهرست مطالب
۱	چکیده.....
۱	فصل اول مقدمه.....
۱-۱	۱-۱-۱ پیش گفتار.....
۱-۲	۱-۱-۲ اهداف و نوآوری پایان نامه.....
۱-۳	۱-۱-۳ سازمان دهی پایان نامه.....
۳	فصل دوم مروری بر پیشینه تحقیق.....
۳-۱	۲-۱-۱ مقدمه.....
۳-۲	۲-۱-۲ فیزیولوژی گوش طبیعی.....
۳-۳	۲-۱-۳ افت شنوایی.....
۳-۳-۱	۲-۳-۱ اختلال شنوایی رسانا.....
۳-۳-۲	۲-۳-۲ اختلال شنوایی حسی عصبی.....
۳-۴	۲-۱-۴ راه حل های افت شنوایی.....
۳-۴-۱	۲-۴-۱ سمعک ها.....
۳-۴-۲	۲-۴-۲ سیستم های شنوایی از طریق استخوان.....
۳-۴-۳	۲-۴-۳ کاشت های گوش میانی.....
۳-۵	۲-۱-۵ تاریخچه ریزپردازنده کاشت حلزونی گوش.....
۳-۶	۲-۱-۶ سیستم کاشت حلزونی گوش.....
۳-۷	۲-۱-۷ شنوایی با کاشت حلزونی گوش.....
۳-۸	۲-۱-۸ سیستم کاشت حلزون رایج.....
۳-۸-۱	۲-۸-۱ میکروفون و پردازنده سیگنال.....
۳-۸-۲	۲-۸-۲ پیوند انتقال.....
۳-۸-۳	۲-۸-۳ سیستم تحریک.....
۳-۸-۴	۲-۸-۴ آرایه الکتروود.....
۳-۹	۲-۱-۹ استخراج ویژگی های پردازش سیگنال در پردازنده کاشت حلزونی گوش.....
۳-۹-۱	۲-۹-۱ استخراج دامنه.....
۳-۹-۲	۲-۹-۲ مدولاسیون دامنه.....
۳-۹-۳	۲-۹-۳ استخراج فاز.....
۳-۱۰	۲-۱-۱۰ نویز.....
۳-۱۱	۲-۱-۱۱ موسیقی.....
۳-۱۲	۲-۱-۱۲ زبان های آوا.....
۳-۱۳	۲-۱-۱۳ روش های استخراج فاز.....

۲۷	تبدیل هیلبرت ۲-۱۳-۱
۲۷	مدولاسیون فرکانس ۲-۱۳-۲
۲۸	مدولاسیون فاز ۲-۱۳-۳
۳۰	جمع بندی ۲-۱۴
۳۱	فصل سوم: الگوریتم‌های پردازش سیگنال در کاشت حلزونی گوش
۳۱	۳-۱ مقدمه
۳۱	۳-۲ استراتژی آنالوگ فشرده (CA)
۳۳	۳-۳ استراتژی آنالوگ همزمان (SAS)
۳۳	۳-۴ استراتژی نمونه برداری پیوسته ترتیبی (CIS)
۳۵	۳-۴-۱ بلوک‌های الگوریتم نمونه برداری پیوسته ترتیبی (CIS)
۳۵	۳-۴-۱-۱ فیلتر میان گذر
۳۶	۳-۴-۱-۲ استخراج دامنه پوش
۳۶	۳-۴-۱-۳ فشرده سازی
۳۶	۳-۴-۱-۴ شیف‌ت زمانی
۳۶	۳-۵ استراتژی n از m
۳۷	۳-۶ الگوریتم رمزگذاری مدولاسیون دامنه فرکانس (FAME)
۳۸	۳-۷ استراتژی نمونه برداری میانی ناهمزمان
۳۹	۳-۸ استراتژی مدولاسیون دلتا ناهمزمان
۴۱	۳-۹ جمع بندی
۴۳	فصل چهارم: الگوریتم تشخیص قله و دره در زیرسامانه کاشت حلزونی گوش
۴۳	۴-۱ مقدمه
۴۴	۴-۲ معرفی الگوریتم تحریک الکترودها با استفاده از تشخیص نقاط قله و دره
۴۵	۴-۳ استخراج دامنه و فاز
۴۶	۴-۴ نحوه عملکرد الگوریتم
۴۸	۴-۵ معرفی بلوک‌های الگوریتم معرفی شده
۴۹	۴-۶ پیاده سازی مدارهای بلوک‌های الگوریتم
۴۹	۴-۶-۱ نمونه برداری
۵۱	۴-۶-۲ آشکارساز خطا
۵۳	۴-۶-۳ مدار تشخیص عبور از صفر
۵۴	۴-۶-۴ مدار بلوک تشخیص لبه
۵۶	۴-۶-۵ مبدل آنالوگ به دیجیتال
۵۷	۴-۷ شبیه سازی در متلب
۶۰	فصل پنجم: نتایج شبیه سازی

۶۰	۵-۱- پیش نیاز.....
۶۳	۵-۲- مقایسه با استراتژی مدولاسیون دلتا ناهمزمان (ADM).....
۶۷	۵-۳- بازسازی سیگنال.....
۶۸	۵-۳-۱- تابع Sinc.....
۶۸	۵-۳-۲- تقریب خطی.....
۶۹	۵-۳-۳- درونیابی سیگنال.....
۷۱	۵-۴- فاکتور مقایسه.....
۷۲	۵-۵- مقایسه کمی با الگوریتم‌های مختلف.....
۷۳	۵-۶- انتخاب فرکانس نمونه برداری.....
۷۴	۵-۷- شبیه سازی مداری.....
۷۴	۵-۷-۱- مدار سوئیچ.....
۷۵	۵-۷-۲- مدار آپ امپ.....
۷۷	۵-۷-۳- مدار نمونه برداری.....
۷۹	۵-۷-۴- مدار بلوک تشخیص خطا.....
۸۰	۵-۷-۵- مدار تشخیص عبور از صفر.....
۸۱	۵-۷-۶- مدار تشخیص لبه.....
۸۵	۵-۸- شبیه سازی ورودی پیچیده.....
۸۷	۵-۹- مقایسه خروجی شبیه سازی مداری و سیستمی.....
۸۸	۵-۱۰- جمع بندی فصل.....
۸۹	فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۸۹	۶-۱- مقدمه.....
۸۹	۶-۲- نتیجه گیری و مقایسه کیفی الگوریتم‌های مختلف.....
۹۱	۶-۳- پیشنهادات.....
۹۲	منابع و مراجع.....
۹۶	واژه نامه.....
۱۰۰	Abstract.....

شکل (۱-۲): آناتومی گوش انسان [۱].....	۴
شکل (۲-۲): نمایش تونوتوپیک گیرنده‌های شنوایی [۲].....	۵
شکل (۳-۲): ساختار آناتومی گوش طبیعی و بدون نقص [۳].....	۶
شکل (۴-۲): نمایی از عمل کاشت حلزونی گوش.....	۱۱
شکل (۵-۲): اجزایی در یک سیستم کاشت حلزون گوش معمولی [۱۴].....	۱۳
شکل (۶-۲): دید کلی درباره پردازنده سیگنال دیجیتال.....	۱۶
شکل (۷-۲): پیکربندی روش‌های مختلف تحریک. الف) دو قطبی ب) زمین مشترک ج) تک قطبی.....	۱۸
شکل (۸-۲): نحوه عملکرد مدولاسیون دامنه. الف) سیگنال پیام و ب) سیگنال مدوله شده [۲۱].....	۲۱
شکل (۹-۲): نمای کاشت حلزونی گوش دوطرفه.....	۲۳
شکل (۱۰-۲): دو نوع موج ترکیبی سینوسی. [۲۸].....	۲۴
شکل (۱۱-۲): الف) یک موج دندان اره ای در حوزه زمان و ب) حوزه فرکانس [۲۸].....	۲۶
شکل (۱۲-۲): نمای عملکرد مدولاسیون فرکانس [۳۳].....	۲۸
شکل (۱۳-۲): نحوه کلی عملکرد مدولاسیون فاز [۳۴].....	۲۹
شکل (۱-۳): نمای بلوکی استراتژی آنالوگ فشرده [۳۵].....	۳۲
شکل (۲-۳): بلوک‌های استراتژی نمونه برداری میانی پیوسته [۳۹].....	۳۴
شکل (۳-۳): بلوک‌های استراتژی نمونه برداری n از m [۳۹].....	۳۷
شکل (۴-۳): الگوریتم رمزگذاری مدولاسیون دامنه و فرکانس [۲۲].....	۳۸
شکل (۵-۳): طرح نمونه برداری رویداد محور مبتنی بر مدولاسیون ناهمزمان ضربه.....	۴۰
شکل (۱-۴): نمایش خروجی هر بلوک از مرسوم‌ترین روش کاشت حلزونی گوش [۱۸].....	۴۴
شکل (۲-۴): سیگنال نمونه به همراه پوش آن.....	۴۵
شکل (۳-۴): نمای کلی استراتژی تشخیص قله و دره.....	۴۷
شکل (۴-۴): بلوک‌های داخلی شناسایی قله و دره.....	۴۸
شکل (۵-۴): مدار بلوک نمونه برداری.....	۵۰
شکل (۶-۴): مدار نمونه برداری در فاز ϕ_1	۵۰
شکل (۷-۴): مدار نمونه برداری در فاز ϕ_2	۵۰
شکل (۸-۴): مدار آشکارساز خطا.....	۵۱
شکل (۹-۴): مدار آشکارساز خطا در فاز ϕ_3	۵۲
شکل (۱۰-۴): مدار آشکارساز خطا در فاز ϕ_4	۵۲
شکل (۱۱-۴): مدار تشخیص عبور از صفر.....	۵۳
شکل (۱۲-۴): مدار داخلی بلوک تشخیص لبه.....	۵۴
شکل (۱۳-۴): مدار ساخت سیگنال E.....	۵۵

- شکل (۴-۱۴): بلوک دیاگرام مبدل آنالوگ به دیجیتال..... ۵۶
- شکل (۴-۱۵): نمای شبیه سازی الگوریتم معرفی شده سیمولینک متلب..... ۵۷
- شکل (۴-۱۶): نمای سیمولینک متلب ساخت سیگنال خطا..... ۵۸
- شکل (۴-۱۷): بسته داده اطلاعاتی برای ارسال به سمت الکترودها..... ۵۹
- شکل (۵-۱): (الف) بخشی از صوت ورودی و (ب) خروجی آنالوگ الگوریتم معرفی شده..... ۶۰
- شکل (۵-۲): (الف) بزرگنمایی شده قسمتی از صوت ورودی و (ب) خروجی آنالوگ الگوریتم معرفی شده و (ج) خروجی دیجیتال سریالایز شده..... ۶۱
- شکل (۵-۳): (الف) بزرگنمایی شده اولین دره در شکل قبل و (ب) خروجی سریالایز شده این دره..... ۶۲
- شکل (۵-۴): (الف) بخش دیگری از صوت ورودی و (ب) خروجی استراتژی مدولاسیون دلتا ناهمزمان (ADM) و (ج) خروجی استراتژی معرفی شده..... ۶۴
- شکل (۵-۵): (الف) نمای دیگری از صوت ورودی و (ب) خروجی الگوریتم مدولاسیون دلتا ناهمزمان (ADM) و (ج) خروجی استراتژی معرفی شده..... ۶۶
- شکل (۵-۶): (الف) قسمتی از صوت ورودی (ب) خروجی درونیابی با ۵ نقطه و (ج) خروجی درونیابی با ۴ نقطه..... ۶۹
- شکل (۵-۷): (الف) تصویری کامل از صوت ورودی و (ب) خروجی درونیابی با ۴ نقطه و (ج) خروجی درونیابی با ۳ نقطه..... ۷۰
- شکل (۵-۸): مدار سوئیچ..... ۷۵
- شکل (۵-۹): مدار داخلی آپ امپ..... ۷۶
- شکل (۵-۱۰): خروجی مدار آپ امپ..... ۷۶
- شکل (۵-۱۱): ورودی و خروجی مدار نمونه برداری..... ۷۷
- شکل (۵-۱۲): بزرگنمایی شده سیگنال ورودی و خروجی مدار نمونه برداری..... ۷۸
- شکل (۵-۱۳): ورودی و خروجی مدار شناسایی خطا..... ۷۹
- شکل (۵-۱۴): بلوک های لازم برای تشخیص علامت شیب سیگنال ورودی..... ۸۰
- شکل (۵-۱۵): شکل موج های خروجی مدارات مختلف..... ۸۱
- شکل (۵-۱۶): مدار داخلی گیت NOT..... ۸۲
- شکل (۵-۱۷): مدار داخلی گیت NOR..... ۸۲
- شکل (۵-۱۸): مدار داخلی فلیپ فلاپ D..... ۸۳
- شکل (۵-۱۹): مدار داخلی لچ SR..... ۸۴
- شکل (۵-۲۰): شکل موج خروجی ورودی سیگنال اولیه و خروجی مدار تشخیص لبه..... ۸۴
- شکل (۵-۲۱): جمع ۳ سیگنال سینوسی در بلوک شناسایی قله و دره..... ۸۵
- شکل (۵-۲۲): (الف) صوت ورودی ترکیب سه فرکانس ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز و (ب) خروجی کیدنس الگوریتم معرفی شده..... ۸۶
- شکل (۵-۲۳): ورودی و خروجی شبیه سازی مداری و سیستمی..... ۸۷

صفحه

فهرست جداولها

جدول (۱-۳): جدول پهنای باند و فرکانس مرکزی هر فیلتر باند پایه [۴۱].....	۳۵
جدول (۱-۵): مقایسه ضریب همبستگی بین استراتژی‌های مختلف.....	۷۲
جدول (۲-۵): مقایسه ضریب همبستگی بر حسب تغییرات فرکانس نمونه برداری.....	۷۳
جدول (۳-۵): جدول مشخصات المان‌های مدار آپ امپ.....	۷۴
جدول (۴-۵): جدول مشخصات المان‌های مدار سوئیچ.....	۷۵
جدول (۵-۵): جدول مشخصات المان‌های مدار آپ امپ.....	۷۷
جدول (۶-۵): جدول مشخصات المان‌های مدار تشخیص خطا.....	۸۰
جدول (۷-۵): جدول مشخصات المان‌های مدار گیت NOT.....	۸۲
جدول (۸-۵): جدول مشخصات المان‌های مدار NOR.....	۸۳
جدول (۹-۵): جدول مشخصات المان‌های مدار D FlipFlop.....	۸۳
جدول (۱-۶): مقایسه کیفی بین استراتژی‌های مختلف.....	۹۰

منابع و مراجع

- [1] L. Chittka and A. Brockmann, "Perception space—the final frontier," *PLoS biology*, vol. 3, no. 4, pp. 137, Apr. 2005.
- [2] I. T. CHAPTER, "Neuroanatomy for Speech-Language Pathology and Audiology 2nd Ed. Matthew H Rouse." Feb. 2019.
- [3] B. S. Wilson and M. F. Dorman, "Interfacing sensors with the nervous system: lessons from the development and success of the cochlear implant," *IEEE Sensors Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 131-147, Jan. 2008.
- [4] W. A. Yost and D. W. Nielsen, *Fundamentals of hearing*. Academic Press New York, 2000.
- [5] J. Pickles, "An introduction to the physiology of hearing," *An Introduction to the Physiology of Hearing*: Brill, Apr. 2013.
- [6] P. J. Blamey *et al.*, "Factors predicting postoperative sentence scores in postlinguistically deaf adult cochlear implant patients," *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, vol. 101, no. 4, pp. 342-348, Apr. 1992.
- [7] C. C. Finley, B. S. Wilson, and M. W. White, "Models of neural responsiveness to electrical stimulation," in *Cochlear implants: models of the electrically stimulated ear*: Springer, 1990, pp. 55-96.
- [8] R. Shepherd, S. Hatsushika, and G. M. Clark, "Electrical stimulation of the auditory nerve: the effect of electrode position on neural excitation," *Hearing research*, vol. 66, no. 1, pp. 108-120, Mar. 1993.
- [9] J. Reefhuis *et al.*, "Risk of bacterial meningitis in children with cochlear implants," *New England Journal of Medicine*, vol. 349, no. 5, pp. 435-445, Jul. 2003.
- [10] B. M. Verbist, J. H. Frijns, J. Geleijns, and M. A. van Buchem, "Multisection CT as a valuable tool in the postoperative assessment of cochlear implant patients," *American Journal of Neuroradiology*, vol. 26, no. 2, pp. 424-429, Feb. 2005.
- [11] R. H. Bettman, A. F. van Olphen, F. W. Zonneveld, and E. H. Huizing, "Electrode insertion depth in cochlear implantees estimated during surgery, on plain film radiographs and with electrode function testing," *European archives of oto-rhino-laryngology*, vol. 260, pp. 536-540, Nov. 2003.
- [12] J. Xu, S.-A. Xu, L. T. Cohen, and G. M. Clark, "Cochlear view: postoperative radiography for cochlear implantation," *Otology & Neurotology*, vol. 21, no. 1, pp. 49-56, Jan. 2000.

-
- [13] M. Moradi, M. Fallahi-Khoshknab, A. Dalvandi, M. Farhadi, S. S. B. Maddah, and E. Mohammadi, "Rehabilitation of children with cochlear implant in Iran: A scoping review," *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, vol. 35, p. 73, Jun. 2021.
 - [14] F.-G. Zeng, "Trends in cochlear implants," *Trends in amplification*, vol. 8, no. 1, pp. 1-34, Dec. 2004.
 - [15] N. Mamun, W. A. Jassim, and M. S. Zilany, "Prediction of speech intelligibility using a neurogram orthogonal polynomial measure (NOPM)," *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 23, no. 4, pp. 760-773, Feb. 2015.
 - [16] F.-G. Zeng, S. Rebscher, W. Harrison, X. Sun, and H. Feng, "Cochlear implants: system design, integration, and evaluation," *IEEE reviews in biomedical engineering*, vol. 1, pp. 115-142, Nov. 2008.
 - [17] H. McDermott, "An advanced multiple channel cochlear implant," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 36, no. 7, pp. 789-797, Jul. 1989.
 - [18] P. C. Loizou, "Mimicking the human ear," *IEEE signal processing magazine*, vol. 15, no. 5, pp. 101-130, Sep. 1998.
 - [19] H. J. McDermott, "Music perception with cochlear implants: a review," *Trends in amplification*, vol. 8, no. 2, pp. 49-82, Mar. 2004.
 - [20] D. D. Greenwood, "A cochlear frequency-position function for several species—29 years later," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 87, no. 6, pp. 2592-2605, Jun. 1990.
 - [21] A. Shaik. "Amplitude Modulation." Physics and Radio-Electronics. <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/amplitude-modulation/> (accessed 23 Aug. 2023).
 - [22] K. Nie, G. Stickney, and F.-G. Zeng, "Encoding frequency modulation to improve cochlear implant performance in noise," *IEEE transactions on biomedical engineering*, vol. 52, no. 1, pp. 64-73, Dec. 2004.
 - [23] Q.-J. Fu, R. V. Shannon, and X. Wang, "Effects of noise and spectral resolution on vowel and consonant recognition: Acoustic and electric hearing," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 104, no. 6, pp. 3586-3596, Dec. 1998.
 - [24] G. S. Stickney, K. Nie, and F.-G. Zeng, "Contribution of frequency modulation to speech recognition in noise," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 118, no. 4, pp. 2412-2420, Oct. 2005.
 - [25] A. E. Vandali, C. Sucher, D. J. Tsang, C. M. McKay, J. W. Chew, and H. J. McDermott, "Pitch ranking ability of cochlear implant recipients: A comparison of sound-processing strategies," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 117, no. 5, pp. 3126-3138, May 2005.
 - [26] D. B. Grayden, A. N. Burkitt, O. P. Kenny, J. C. Clarey, A. G. Paolini, and G. M. Clark, "A cochlear implant speech processing strategy based on an auditory model," *Proceedings of*

- the 2004 Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, 2004.*, IEEE, pp. 491-496, Dec. 2004.
- [27] B. S. Wilson, R. Schatzer, E. A. Lopez-Poveda, X. Sun, D. T. Lawson, and R. D. Wolford, "Two new directions in speech processor design for cochlear implants," *Ear and hearing*, vol. 26, no. 4, pp. 73S-81S, Aug. 2005.
 - [28] S. W. Smith, "The scientist and engineer's guide to digital signal processing," ed: California Technical Pub. San Diego, 1997.
 - [29] J. Wolfe, "Speech and Music: Acoustics, Signals and the Relation between them," *Proceedings of ICoMCS December*, vol. 176, Dec. 2007.
 - [30] W. Nogueira, M. Haro, P. Herrera, and X. Serra, "Music perception with current signal processing strategies for cochlear implants," in *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies*, pp. 1-5, Oct. 2001.
 - [31] I. Tasaki, "Nerve impulses in individual auditory nerve fibers of guinea pig," *Journal of neurophysiology*, vol. 17, no. 2, pp. 97-122, Mar. 1954.
 - [32] J.-J. Sit, A. M. Simonson, A. J. Oxenham, M. A. Faltys, and R. Sarpeshkar, "A low-power asynchronous interleaved sampling algorithm for cochlear implants that encodes envelope and phase information," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 1, pp. 138-149, Dec. 2006.
 - [33] A. Shaik. "Frequency Modulation." Physics and Radio-Electronics. <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/frequency-modulation/> (accessed 23 Aug. 2023).
 - [34] A. Shaik. "Phase Modulation." Physics and Radio-Electronics. <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/phase-modulation/> (accessed 23 Aug. 2023).
 - [35] B. S. Wilson, C. C. Finley, D. T. Lawson, R. D. Wolford, D. K. Eddington, and W. M. Rabinowitz, "Better speech recognition with cochlear implants," *Nature*, vol. 352, no. 6332, pp. 236-238, Jul. 1991.
 - [36] M. F. Dorman, M. T. Hannley, K. Dankowski, L. Smith, and G. McCandless, "Word recognition by 50 patients fitted with the Symbion multichannel cochlear implant," *Ear and Hearing*, vol. 10, no. 1, pp. 44-49, Feb. 1989.
 - [37] D. K. Kessler, "The Clarion® Multi-strategy™ cochlear implant," *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, vol. 108, no. 4_suppl, pp. 8-16, Apr. 1999.
 - [38] R. Sarpeshkar *et al.*, "An ultra-low-power programmable analog bionic ear processor," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 52, no. 4, pp. 711-727, Mar. 2005.
 - [39] J.-J. Sit and R. Sarpeshkar, "A cochlear-implant processor for encoding music and lowering stimulation power," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 7, no. 1, pp. 40-48, Jan. 2008.

-
- [40] A. P. Sanderson, E. T. Rogers, C. A. Verschuur, and T. A. Newman, "Exploiting routine clinical measures to inform strategies for better hearing performance in cochlear implant users," *Frontiers in Neuroscience*, p. 1048, Jan. 2019.
 - [41] M. Barbara, V. Manni, and S. Monini, "Totally implantable middle ear device for rehabilitation of sensorineural hearing loss: preliminary experience with the esteem®, envoy," *Acta Oto-Laryngologica*, vol. 129, no. 4, pp. 429-432, Jan. 2009.
 - [42] M. Ghovanloo, K. Otto, D. Kipke, and K. Najafi, "In vitro and in vivo testing of a wireless multichannel stimulating telemetry microsystem," in *The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 2: IEEE, pp. 4294-4297. Sep. 2004.
 - [43] A. C. Johnson and K. D. Wise, "An active thin-film cochlear electrode array with monolithic backing and curl," *Journal of microelectromechanical systems*, vol. 23, no. 2, pp. 428-437, Nov. 2013.
 - [44] M. Ghovanloo and K. Najafi, "A wireless implantable multichannel microstimulating system-on-a-chip with modular architecture," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 449-457, Sep. 2007.
 - [45] N. Guo, S. Wang, R. Genov, L. Wang, and D. Ho, "Asynchronous Event-driven Encoder With Simultaneous Temporal Envelope and Phase Extraction for Cochlear Implants," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 620-630, Apr. 2020.
 - [46] R. Sarpeshkar, M. Baker, C. Salthouse, J.-J. Sit, L. Turicchia, and S. Zhak, "An analog bionic ear processor with zero-crossing detection," in *ISSCC. 2005 IEEE International Digest of Technical Papers. Solid-State Circuits Conference*, IEEE, pp. 78-79, Feb. 2005.
 - [47] D. H. Johnson, "The relationship between spike rate and synchrony in responses of auditory-nerve fibers to single tones," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 68, no. 4, pp. 1115-1122, Oct. 1980.
 - [48] N. Y.-S. Kiang, T. Watanabe, E. C. Thomas, and L. F. Clark, *Discharge patterns of single fibers in the cat's auditory nerve*. MIT press Cambridge, MA, 1965.

واژه نامه

Cochlear Implant.....	کاشت حلزونی گوش.....
the pinna.....	پینا.....
the ear canal.....	کانال گوش.....
the ear drum.....	طبل گوش.....
the malleus.....	مالئوس.....
the incus.....	اینکاس.....
the stapes.....	استیپس.....
cochlea.....	حلزون.....
vestibule.....	وستیبول.....
the base.....	پایه.....
the apex.....	نوک.....
the tympanic membrane.....	غشای طبل گوش.....
the oval window.....	پنجره بیضی.....
Conductive.....	رسانا.....
Sensorineural	حسی عصبی.....
Organ of Corti	ارگان اسپیرال.....
Presbycusis	پرسبیاکوزیس.....
loudness recruitment	فراخوانی بلندی صدا.....

Alessandro Volta	الساندرو ولتا
Andrr Djourno	آندر جوورنو
Charles Eyries	چارلز ایریس
roulette wheel	چرخ رولت
cricket	جرجیرک
William House	ویلیام هاوس
Jack Urban	جک اوربان
Graeme Clark	گریم کلارک
Von Helmholtz	وُن هلمهولتز
Von Bekesy	وُن بکسی
Claude-Henri Chouard	کلود - هنری کوارد
Dr. House	دکتر هاوس
dynamic range	محدوده دینامیکی
Signal Processing (SP)	پردازش سیگنال
back-telemetry	پشت تله متری
Basiological	پایه شناسی
Greenwood	گرینوود
Demodulation	دمدولاسیون
Amplitude Modulation	مدولاسیون دامنه
Envelope	پوش
Sideband	باند جانبی

fine-structure	ساختار ظریف.....
timing cues	نشانه‌های زمان‌بندی.....
peaks.....	اوج‌ها.....
zero-crossing	تلاقی صفر.....
Frequency Modulation	مدولاسیون فرکانس.....
pitch	پیچ.....
timbre	طنین صدا.....
harmonic content	محتوای همساز.....
Phase Modulation	مدولاسیون فاز.....
Carrier Signal	سیگنال حامل.....
Signal-to-Noise Ratio	نسبت سیگنال به نویز.....
Compressed Analogue Strategy	استراتژی آنالوگ فشرده.....
Symbion.....	سیمبیون.....
Ineraid.....	اینرید.....
Automatic Gain Control	کنترل گین خودکار.....
Simultaneous Analog Stimulation	شیبه سازی آنالوگ همزمان.....
The Clarion	کلاریون.....
Kessler	کسلر.....
Continuous Interleaved Sampling Strategy	استراتژی نمونه‌برداری پیوسته ترتیبی.....
Interleaved.....	غیر همپوشان.....
Nonlinear Compressor	فشرده ساز غیر خطی.....

Band-Pass Filter	فیلتر باند پایه
Rectifier	یکسوساز
Envelope Extraction.....	استخراج دامنه پوش
compression	فشرده سازی
N of M strategy.....	استراتژی n از m
Frequency Amplitude Modulation Encoding	الگوریتم رمزگذاری مدولاسیون دامنه فرکانس
Bilateral	دوطرفه
Asynchronous Interleaved Sampling Strategy	استراتژی نمونه برداری میانی ناهمزمان
run to spike	مسابقه برای تغییر ناگهانی
spike	تغییر ناگهانی
Asynchronous Delta Modulation Strategy	استراتژی مدولاسیون دلتا ناهمزمان
Analog-to-Digital Converter	مبدل آنالوگ به دیجیتال
Polarity	قطبیت
Spike train	قطار اسپایک
Oversampling	نمونه برداری با نرخ بالا
Edge Detector block	بلوک شناسایی لبه
Sample and Hold	نمونه برداری
Sleep mode	حالت خواب

Abstract

The World Health Organization estimated in 2021 that approximately 7% of the world's population (500 million people) are affected by hearing loss. Cochlear implant is recognized as the most successful neural prosthetic and the only medical treatment for restoring some level of hearing in patients with severe deafness. One of the key components of the cochlear implant system is the signal processing block, which is responsible for receiving information from the microphone, performing frequency analysis and processing on the data, and ultimately transmitting them to the auditory nerve receptors. In this thesis, an advanced algorithm for multi-objective signal processing is introduced. The main objective of this algorithm is to simplify and incorporate a sleep mode capability for the subsequent blocks, leading to overall energy reduction in the system. This feature aids in the future development of fully implanted cochlear devices, which has been one of the significant goals in the field of cochlear implantation in recent years. Additionally, this algorithm aims to improve sound perception in the presence of noise and interference, enhance music recognition, and enable differentiation between various spoken languages by utilizing better phase information extraction. This strategy extracts phase information based on peak and trough identification, which is considered the best approach in this field. Simulations are performed in the MATLAB Simulink environment, and correlation coefficient is used as a quantitative measure for comparison. Furthermore, the improved performance of the proposed algorithm is validated against the well-known delta modulation algorithm for asynchronous modulation. Circuit simulations in 180-nanometer technology are also conducted using Cadence, and the performance of this simulation is confirmed by comparing it with the MATLAB simulation output. The results demonstrate that the algorithm presented in this thesis performs well and provides significant improvements compared to other established algorithms. Moreover, the correlation coefficient and the consistency of performance with circuit-level and MATLAB Simulink simulations confirm that the algorithm introduced in this thesis is verified and works well.

Key Words: Cochlear Implant, Audio Signal Processor, Amplitude and Phase Extraction, Audio Perception.



**Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)**

Department of Electrical Engineering

M.Sc Thesis

**Design a Signal Processor in Cochlear Implant
Microsystem**

**By
Amin Armin**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

September 2023