

深々度潜水における音声通信と潜水病予防のための  
デジタル信号処理に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中井, 孝芳 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1228">http://hdl.handle.net/10297/1228</a>

氏名・(本籍)	中 井 孝 芳 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博乙第 57 号
学位授与の日付	平成 6 年 9 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	深々度潜水における音声通信と潜水病予防のためのデジタル信号処理に関する研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授 福田 明		
	教授 水品 静夫	教授 鈴木 久喜	
	教授 深林 太計志	教授 北澤 茂良	

## 論 文 内 容 の 要 旨

潜水活動は人類の新たなフロンティアと言ってよい。それを発展させるには安全な潜水活動を支える技術が必要であり、そのために電子技術の一層の役割が期待されている。

集積回路技術の進展に伴い、高速で高機能なデジタルICが開発されるようになった。本論文ではこれらのICを用いて、潜水活動を行うのに最も重要と考えられる音声通信と潜水病対策に用いられる二つの支援システムを開発した。前者はヘリウム音声の修復システムであり、後者は潜水浮上時に発生する気泡検出システムである。

まず、ヘリウム音声の修復について述べる。深度数十メートル以深の潜水では潜水病を避けるため、ヘリウムを多量に含んだヘリウム空気を用いる。この環境で発声された音声は「ヘリウム音声」と呼ばれ、了解度が低く、そのままでは音声による通信は殆どできない。ヘリウム音声の了解度が低い原因は大別して二つあり、それはマイクロホン等の音響機器と音声自身である。

本研究では、まず、数種類のマイクロホンを高圧タンクで実測した結果からB&K製の1/2インチコンデンサマイクロホン4133と松下通工製のエレクトレット型マイクロホンMW06の周波数特性がヘリウム空気中で10kHzまで平坦であることを示した。

これらを使用してヘリウム音声を収録した。

この音声を分析し、ヘリウム音声は通常空気中の音声に比べ、ホルマント周波数が非線形に上昇する、母音に比べ子音の音圧レベルが低下する、ピッチは高くなるが高々30%であること等を示した。

この結果より、ホルマント周波数を非線形に変換できる線形予測法(LP法)を用いた新しいアルゴリズムによる修復法を提案した。これは、LP法により声道の極周波数を抽出し、この特性をLP法の一

であるLSP係数を用いて非線形に変換し、この変換された係数と残差波形を用いて再合成する方式である。開発当時(1979年)、使用可能な高速で高機能のICは高速積和器(TRW製1010J)等であり、これらを用いて実時間ヘリウム音声修復装置を試作した。本装置では演算速度を能力限界まで高くするため固定小数点方式を採用した。演算誤差等の評価を行うためミニコンを用いて詳細なシミュレーションを行い、装置の各部の演算語長を決定した。各部はパイプライン方式で結合され、音声が入力されてから変換されるまでに50msの遅れがある。ICは約800個を要し、幅51cm、奥行き40cm、高さ35cmの箱に収納されている。

この装置について市販の修復装置(アナログ電子回路によるピッチ同期型波形伸長方式)とともに実際のヘリウム音声を用いて性能の評価をした。また、修復に用いる変換方式と実時間動作のデジタル装置としての設計製作上の問題点、およびヘリウム音声の物理的性質などについて検討した。その結果、深度300メートルの音声は、原音の明瞭度が10%に対し、修復音では70%に向上し、了解度、声質とも実用上十分に修復できることが示された。

次に、この結果を踏まえ、固定小数点演算の高速のDSP(富士通製MB8764、第2世代DSP)を用いて改良システムを試作した。すなわち、エラー処理を強化して突然の雑音による発振等はなく実用機として十分であることが示された。システムは全体として5つの処理ユニットで構成され、パイプライン方式で処理される。DSPは5個、IC総数約200個で、A3の大きさ1枚の基板に納められている。消費電力は約40W、試作1号機の約1/4の大きさである。

本論文で取り組んだ二つの課題のうち第二の課題は潜水浮上時における血液中の気泡検出である。潜水士は急速に浮上すると体内に気泡が発生し潜水病の原因となる。従って、潜水病を予防するには血液中の気泡が少ない段階で検出する必要がある。身体を循環した血液は必ず肺動脈を通るので、従来法は肺動脈に超音波を照射しドップラの原理による変調信号(ドップラ信号)を聴覚的に判断して気泡音を検出する。この信号には鼓動音等の気泡音以外の雑音が混入しているため専門家でも判定は容易ではない。本研究では、ドップラ信号中の気泡音の音響的性質を明らかにし、それに基づいて気泡音を検出するアルゴリズムを提案した。まず、鼓動音を軽減するため線形予測法により残差信号を求める(線形予測によって周期的な鼓動音は予測できるので除去し、突発的に発生する気泡音はほぼそのまま残る)。次に、この残差信号より振幅と零交差数、周波数分析を求め気泡音を検出した。この結果、Spencerの5つの段階区分のうち気泡のない段階0から段階3までの区分を正しく判定できた。気泡が少ない場合の判定は専門家でも難しく、本装置の性能は潜水病の予防という観点からは十分であるといえる。また、海洋科学技術センターでの有人潜水模擬実験における潜水士のドップラ信号では専門家と同一の段階区分で、正しく判定できた。

アルゴリズムを改良し、鼓動区間の設定等を自動化してDSPを用いた準実時間の気泡検出装置を試作した。設定を自動化しても、結果は上述のプログラムの判定と一致した。さらに、実際のデータを分析、鼓動区間を含めるか否かで判定段階が異なる場合があることを明らかにし、鼓動区間を含めて気泡検出を行うとより正確な判定ができることを示した。

本論文では深々度潜水に不可欠な二つの支援システムの研究成果を述べた。どちらも、デジタル信号処理の標準的な技法の一つである線形予測法を用いているが、ヘリウム音声の修復では、声道の伝達特性の抽出とその変換に、気泡検出では、気泡の検出には雑音である鼓動音の軽減に用いた。また、実時間あるいは準実時間で動作するデジタル電子装置を開発した。

## 論文審査結果の要旨

深海は人類のフロンティア領域である。安全な潜水活動を支えるには多くの新技術が必要であり、なかでも音声通信と潜水病予防における電子システムの役割は大きい。本研究はこの点に着目して行われたもので、論文は全9章および付録4項からなる。

1章は序論であり潜水時の音声通信および気泡検出における従来の多くの方法の問題点を指摘している。

2、3章では潜水時のマイクロホンと音声の性質を述べている。数10m以深の潜水では高圧神経症候群の発生を避けるためヘリウム混合空気を呼吸する。この状態での音声はヘリウム音声と呼ばれ、了解性が低く、音声通信は困難である。ヘリウム音声の了解度が低い原因はマイクロホン等の音響機器と音声自身にある。本研究では実験用高圧タンク内でマイクロホンの特性を測定した。高圧気体環境の音響機器の特性を明らかにしたのは著者らの研究が世界的に見て殆ど唯一である。

4、5、6章では著者の開発したデジタル方式のヘリウム音声修復装置の設計と性能評価を述べている。この装置は音声の線形予測係数(LSP係数)を用いてホルマント周波数を非線形に変換できる点に特徴がある。深度300mでのヘリウム音声の明瞭度は、原音では10%以下だが修復音では約70%に改善され、実用に耐える事が示された。

7、8章は潜水浮上時にダイバーの血液中に発生する気泡の検出について述べている。ダイバーは急激に浮上すると体内に気泡が発生し潜水病の原因になる。よって気泡発生の少ない段階で検出し、適切に対処する必要がある。従来は、肺動脈に超音波を照射し、その反射波のドップラ変調音を聴覚で判断して気泡を検出していた。著者は、ドップラ変調音の線形予測処理により、自動的に気泡を検出するアルゴリズムを提案し、準実時間で動作する装置を構築した。この装置で、センサらによる気泡発生の5つの段階区分の判定が気泡検出の専門家と同程度にできることが示された。

9章は本研究のまとめと今後の研究への展望を述べている。付録には装置の詳細設計資料とヘリウム音声のデータベースに関する記述などが収められている。

本論文は深々度潜水の支援に不可欠な二つの電子システムの研究成果を述べている。どちらも、デジタル信号処理の標準的な技法である線形予測法を用いているが、ヘリウム音声の修復では、信号である音声の特性の抽出に用いたのに対し、気泡検出では、雑音である鼓動音を除去するために用いている点に独自性がある。また単に問題の解決方法を探ただけでなく、実時間あるいは準実時間で動作するデジタル電子装置を開発した点にも意義がある。本研究で確立された設計技術は今後大規模で複雑な装置を開発する際に役立つものであり、大量のヘリウム音声データと共に工学的価値は少ない。よって本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。