

ウェアラブルコンピューティングのための 主観的音量に基づく音声情報提示手法

矢高 真一^{†1} 寺田 努^{†1,†2} 塚本 昌彦^{†1}

音声による情報提示は、ユーザの行う他の作業への影響が比較的小さく、ウェアラブルコンピューティングにおけるインタフェースとして有力であるが、ユーザ状況の影響で違和感なく音声情報を取得できない場合があるという問題がある。本稿では特に、物理的な音量が一定であっても主観的な音量の感じ方が状況によって変化し、ユーザが違和感を感じることに注目し、物理的な提示音量を適切に調節することで、ユーザの感じる音量を一定にする機構を提案する。さらに、筆者らがこれまでに取り組んできた音声情報の認識精度を維持するための機構と適切に組み合わせ、効果的な情報提示を実現する。また、本稿では、プロトタイプシステムを用いた評価を行い、提案手法の有効性を確認した。

An Audio Information Presentation Method Considering Subjective Volume for Wearable Computing

SHINICHI YATAKA,^{†1} TSUTOMU TERADA^{†1,†2}
and MASAHIKO TSUKAMOTO^{†1}

The audio information presentation is a dominant candidate for an interface in wearable computing environments since it does not interfere with most tasks compared with other methods including visual displays. On the other hand, the user cannot always catch the audio information without the sense of incompatibility because of the user contexts. In particular, we draw attention to the fact that the user feels uncomfortable because the volume that the user feels changes according to the user contexts even if a physical presentation volume is constant. In this paper, we propose a mechanism that makes the volume that the user feels constant by adjusting a physical presentation volume. In addition, we combine it with the mechanism to maintain the recognition accuracy of audio information, which is our previous work, for effective information presentation. The evaluation results using a prototype system confirmed the effectiveness of our proposed method.

1. はじめに

近年の計算機の小型化・軽量化に伴い、コンピュータを身につけて利用するウェアラブルコンピューティングへの期待が高まっている。ウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザは歩行中や作業中などさまざまな状況での情報閲覧が想定される。したがって、従来のデスクトップコンピューティング環境における視覚を主に用いた情報提示では常に多くの情報を快適に閲覧できるとはいえず、ユーザ状況を考慮し、音声や振動などのさまざまなメディアを組み合わせた情報提示が必要である。特に音声による情報提示は、イヤホンのような一般的なデバイスで利用でき、また受動的に情報を得られるため、ウェアラブルコンピューティングに適した情報提示方式として期待されている。津村らによるウェアラブルコンピュータに適した情報提示方法の評価¹⁾では、タスク遂行中に視覚情報提示と音声情報提示の認識度や快適度などを調べており、静的な環境下であれば音声メディアがテキスト情報の提示に最も適していると述べている。

ただし、音声情報提示においても、状況によってはユーザが提示された情報を違和感なく取得できないという問題がある。例えば、提示音量が小さいと騒音下では提示内容が聞き取れないことがあり、他の作業に集中している時には聞き逃すことも考えられる。一方、常に情報提示デバイスを身につけているウェアラブルコンピューティング環境では、静かな環境における不必要に大きい音量やチャイム音の再生にユーザはストレスを感じると考えられる。この問題を解決するため、これまでに筆者らの研究グループでは、ユーザ状況と音声情報の認識の関係を調べ、状況に応じて提示音量の変更やアラート音の再生を行うことで、ユーザが提示内容を正確に、かつユーザに不必要にストレスを与えない方法で音声情報を提示する機構を提案した²⁾。

しかし、提示音量の変化などに対してユーザが違和感を感じれば、他の作業の妨げやユーザのストレスとなることが予想される。ここで、本稿では、物理的な音量が一定であってもユーザの主観的に感じる音量が状況によって変化することに注目する。例えば、空調やコンピュータのファンの音などの雑音を一定時間聞いた後に音楽を聞くと、雑音を聞く前より小

^{†1} 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

^{†2} 科学技術振興機構さがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

さく聞こえる。また、大音量のクラブハウスやコンサート会場の音は、最初は驚く程大きく感じるが、次第に慣れていくなどといった現象も主観的音量の変化の例である。これは、暗い所に長時間いると「目が慣れる」といった視覚における機能と同様の機能が聴覚器官にも備わっており、音量の感じ方が自然と調整されるためであると考えられる。したがって、ウェアラブルコンピューティング環境で音声情報の提示を行う際、一定の物理的音量で提示しても、ユーザ状況の影響で主観的音量が変化し、提示された音量に違和感を感じる場合がある。そこで本稿では、違和感のない音声情報提示を実現するため、ユーザ状況の変化に応じて提示音の物理的音量を適切に変更し、主観的音量をできるだけ一定にして提示する機構を新たに提案する。さらに、提案する主観音量を一定にする機構とこれまでに提案した提示方法を動的に変更する機構と組み合わせる事で効果的な音声情報提示を実現する。

本稿は以下のように構成されている。第2章でウェアラブルコンピューティング環境における情報提示手法と音声情報を用いたアプリケーションの関連研究について記述し、第3章ではウェアラブルコンピューティング環境における音声情報提示が満たすべき要件について定義する。第4章では提案手法について述べ、第5章で評価実験と考察を行う。最後に第6章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

ウェアラブルコンピューティング環境では、ただディスプレイに情報を映すという単純な情報提示ではユーザ状況の影響で得られる情報が減少してしまう。この問題を解決するため、これまでにユーザ状況を考慮した情報提示手法が提案されてきた。田中らは、利用できる情報提示デバイスの特徴とサービスが提示させたい情報の特徴から、最適な提示方法を選択して提示する機構を提案している³⁾。例えば、車の運転中など、ユーザがディスプレイを注視できない場合に、テキスト情報を音声情報に変換して提示することで、ユーザに正しく情報を提示する。この研究は情報提示デバイスを切替える枠組みの提案であり、本研究の結果をこの機構の音声提示部の評価部分として動かすことで、汎用的なデバイスの切替えにも対応できる。文献4)では背景が透過できるシースルー型HMDにおいて、HMDの背景の明暗などの影響で画面の一部が見えづらくなった場合に情報の表示位置を動的に変更し、情報の視認性を高める手法が提案されている。

音声情報についても、メール受信などの通知をユーザ状況を考慮して提示する手法が多く提案されている。Kernらは、加速度センサやマイクによってユーザの状況をユーザの中断可能度、周囲の中断可能度という2軸上にマッピングし、その位置によりピープ音のみで

通知するか、画像と音声を用いて通知するかなどを決定するシステムを提案している⁵⁾。Nomadic Radio⁶⁾はマイクによりユーザが会話中かどうかを認識し、提示情報の優先度と過去の履歴から、提示方法を変更する。これらの研究ではユーザ状況により提示する情報量が変化したが、本研究では提示音量などを変更し、情報量を変えずに情報を伝達する手法を目指す。また、これらは通知という情報量の小さい情報提示に関する取り組みであり、ニュースやナビゲーションといった長文の再生は考慮していない。さらに、携帯電話やカーステレオなどにおいて、周囲の雑音によって通話音やカーステレオの再生音の音量を自動調整する機能や、周囲の雑音を自動でカットして通話相手に音声を届ける機能などが実現されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。これらは周囲の音のみによって提示方法を変更しているが、ウェアラブルコンピューティング環境では加速度センサなどを用いて詳細なユーザ状況を取得でき、これらを用いればより適切な方法で音声情報を提示できると考えられる。

ウェアラブルコンピューティングにおける音声情報を利用したアプリケーションについても多くの提案がされている。SoundWeb¹⁰⁾は、別の音声データへのリンクがある部分の再生時に同時に信号音を流すことでユーザにリンクの存在を知らせ、構造化された情報を音声のみで閲覧することを可能にしている。SWAN¹¹⁾は進行方向や近くのバス停やコンビニなどの存在を信号音などで提示する。広田らは、聴覚定位を利用してユーザの周囲に仮想的にアイコンを配置し、音声の聞こえた方向をポインティングすることでコンピュータを操作できる手法を提案している¹²⁾。これらの音声提示アプリケーションでは、ユーザ状況は考慮されておらず、ユーザが情報を違和感なく取得できない場合がある。したがって、これらのアプリケーションと提案手法を組み合わせることで、より有効なシステムが構築できる。

3. 要件定義

提案手法では、ユーザが小型のコンピュータや様々なセンサ、イヤホンなどの情報提示デバイスを身につけ、作業時や歩行時などに電子マニュアルやニュース速報などの音声情報をイヤホンなどのデバイスを紹介して取得するような環境を想定している。このような想定環境下では、音声情報は以下のような要件を満たしてユーザに提示されることが望ましい。

正確性

作業現場においては、電子マニュアルなどの情報を正確に取得できなければ、作業の中断や事故につながる。したがって、聞き取りづらい音量や聞き逃す可能性のあるタイミングでの情報提示は不適切であり、ユーザが正確に情報を取得できる方法で提示する必要がある。

快適性

ユーザは常に情報提示デバイスを身につけていることを想定しているため、静かな環境における不必要な大音量やアラート音の再生にユーザはストレスを感じると考えられる。したがって、このような不快感のない、快適な情報提示を行う必要がある。

均一性

音量などの提示方法が予期しない変化をすると、作業の中断やユーザのストレスにつながると考えられる。ここで、提示音量の物理的な音量が一定であっても、ユーザの感じる音量(主観的音量)はユーザ状況によって変化し、違和感を感じると考えられ、このような違和感をユーザに感じさせない情報提示を行う必要がある。

即時性

近年、ユーザが身に付けた GPS や様々な生体センサなどの情報を利用したナビゲーションサービス¹³⁾ や健康管理サービス¹⁴⁾ などがウェアラブルコンピューティングのアプリケーションとして多く提案されている。これらのアプリケーションではその時のユーザのコンテキストに基づいた情報を提示するため、ユーザによる情報へのアクセスやアプリケーションによる提示要求に応じて即座に情報提示を行う必要がある。

ただ音声を再生するといった単純な情報提示では、ユーザ状況によってこれらの要件が満たされない場合があるため、ユーザ状況により提示方法を変化させる必要がある。また、騒がしい環境においては、提示音量を大きくすることで正確な情報提示は行えると考えられるが、均一性が失われてしまう。一方、提示方法を変更しなければ、正確な情報提示は行えない。これらの点を考慮し、適切に提示方法を変更する必要がある。

4. 提案手法

本稿では、ウェアラブルコンピューティング環境において、提示された情報を違和感なく取得したいという要求に対し、ユーザ状況を考慮した音声情報提示手法を提案する。筆者らはこれまでに歩行や会話などの活動状況、周辺音量などの周辺状況からなるユーザ状況が音声情報の認識に与える影響を調べ、ユーザ状況を考慮して提示方法を動的に変更する事で正確で快適な情報提示を行う機構を提案してきた²⁾。例えば、周囲が騒がしくなると、小さい音量では提示された情報を認識するのが難しいため提示音量を上げ、周囲が静かであれば、不必要に大きい音量はユーザに不快感を与えるため小さな提示音量で提示を行う。ま

た、ユーザが会話中であれば、提示前にアラートを鳴らすことでユーザの注意をひく。

本稿ではさらに、ユーザが主観的に感じる音量(主観的音量)は、物理的な音量(物理的音量)が一定であっても、ユーザ状況により変化する点に注目する。主観的音量がユーザ状況によって変化すれば、たとえ一定の物理的音量で提示しても、音声情報提示の均一性が損なわれてしまうと考えられる。したがって、本稿ではユーザ状況が主観的音量の変化に与える影響を調べ、適切に提示音の物理的音量を変更する事で、主観的音量を一定にする機構を新たに提案し、これまでに提案した機構と適切に組み合わせる事で効果的な音声の情報提示を実現する。

本章ではまず、文献²⁾で述べたユーザ状況と音声情報の認識の関係を調べる実験について説明し、次にユーザ状況と主観的音量の変化の関係を明らかにするために今回行った実験について述べる。その後、実験結果に基づき提示方法を制御する手法について述べる。

4.1 ユーザ状況と音声情報認識の関係

音声情報を提示する際、小さすぎる提示音量ではユーザは情報を認識できない。一方で不必要に大きい音量で提示した場合はユーザはストレスを感じると考えられる。したがって、正確で快適な情報提示を行うため、ユーザ状況と音声情報の認識の関係を明らかにする予備実験を行った。詳細は文献²⁾に示すが、腰に小型 PC、首元にマイク、耳に骨伝導イヤホンを装着した被験者に、アルファベット 4 文字を成年男性の声(400~450[Hz])で順に読み上げた音声情報を平均 1 分間隔で提示し、正しく聞き取ることができたかどうかを調べた。この時、被験者にはタスクなし、歩行、ジョギング、PC の操作、会話のいずれかを行ってもらった。提示した音声の音量は減衰なしの音量と比較して -5dB、-15dB、-25dB、-35dB である。結果を図 1~5 に示す。図 1~5 は実験を行ったそれぞれの活動状況において正答率が閾値 $T(T = 85\%)$ を超えたときの周辺音量と提示音量の関係を表す散布図である。図より、会話時以外の活動状況においては、周辺音量の増加に対して、正答率が閾値 T を超えるために必要な最小の提示音量が増加する傾向があり、比例関係がみられた。この傾向から、各周辺音量に対して必要な最小の提示音量について、最小二乗法を用いて近似直線を求めた。求めた直線を図 1~4 に示す。この直線を用いて、ユーザ状況から提示音量を導出し、音声情報を提示する事で、正確で、快適に音声情報を提示できると考えられる。また、会話時以外については、活動状況による正答率の差があまりあまりみられなかった。したがって、身体動作や他のタスクへの集中力は音声情報の認識にほとんど影響を与えないとわかる。

一方、図 5 より、会話時については、閾値を超える点がほぼみられなかった。これは集中する対象が話すことや人の話を聞くことであり、会話と同時に音声を聞き取ることが困難

だったためだと考えられる．したがって，会話時については提示音量の変更により十分な認識率を得ることはできないため，アラート音の再生などによりユーザの注意を引くことが有効だと考えられる．

4.2 ユーザ状況と主観的音量の変化の関係

提示音の物理的な音量が一定であっても，ユーザ状況の影響で，ユーザの感じる主観的音量は変化すると考えられる．したがって，一定の物理的音量で提示を行えば，3章で述べた音声情報提示の均一性が損なわれてしまう場合がある．ここで本稿では，音声情報の提示前一定期間の周辺音量と提示時の周辺音量の2つが主観的音量の変化に影響を与える要因であるという仮説を立てた．これは，聴覚器官の慣れや，他の音量に対する相対的な大きさなど，ユーザ状況における聴覚的な側面がより強く主観的音量の変化に影響を与えると考えたためである．それぞれの要因が主観的音量に与える影響を調べた予備実験について以下で詳しく述べる．

4.2.1 提示前の周辺音量が主観的音量に与える影響

提示前一定期間の周辺音量がどのように主観的音量の変化に影響を与えるかを調べるため，以下の方法で実験を行った．まず，被験者が装着したイヤホンから信号音（音量 p_1 ，1[kHz]）を7秒再生した．その後，実験環境に設置したスピーカからホワイトノイズ（音量 s ）を t 秒再生した後，再度イヤホンから信号音（音量 p_2 ）を再生した．この際，被験者は p_1 と p_2 が等しい音量と感ずるように音量 p_2 を調節し，調節された音量 Δp を記録した．ただし，2回の信号音の提示音量は等しくし（ $p_1 = p_2$ ），そのことを被験者に伝えずに実験を行った．実験方法を図9に示す．なお被験者は21~24歳の男女18名である．

実験結果を図7，8に示す．図7はホワイトノイズの再生時間を $t = 60[s]$ と固定した場合の，ホワイトノイズの音量 s と信号音の音量 $p_1 (= p_2)$ に対する調整された音量 Δp を示す図である．結果から， s の増加， $p_1 (= p_2)$ の減少に伴い， Δp が大きく，つまり p_2 が p_1 より小さく聞こえる傾向がみられた．図7の黒い丸で囲われた4点で分散分析（ 2×2 ，有意水準：0.05）で有意差を判別した結果，ホワイトノイズの音量 s ，信号音の音量 $p_1 (= p_2)$ による有意差がともにみられ，交互作用による有意差はみられなかった．つまり，提示までの周辺音量が大きくなるにつれて，また再生された音量が小さくなるにつれて，物理的音量が一定であっても，主観的音量が減少する傾向があるといえる．これは，提示までの周辺音量が大きい程，また提示される音量が小さい程，周辺音量への聴覚器官の慣れにより，提示された音量を小さく感じるためだと考えられる．ここで，各 $p_1 (= p_2)$ において，調整され

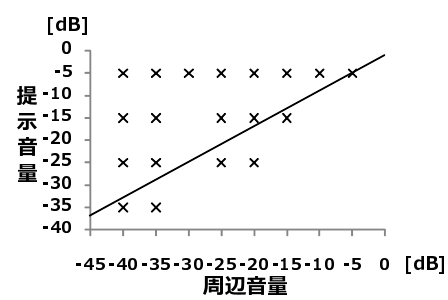


図1 タスクなしの時の散布図
Fig. 1 A point diagram for no task

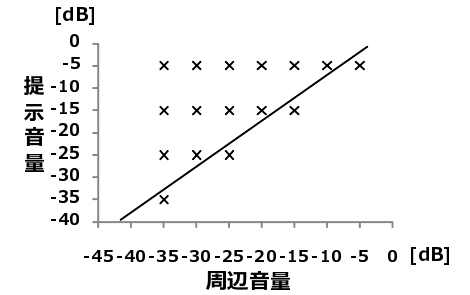


図2 歩行時の散布図
Fig. 2 A point diagram for walking

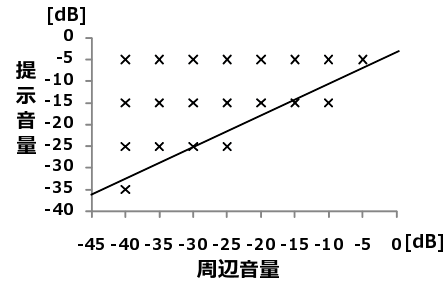


図3 ジョギング時の散布図
Fig. 3 A point diagram for jogging

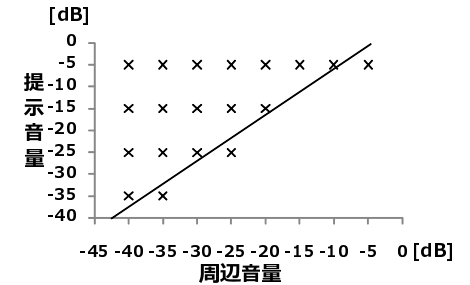


図4 pc操作時の散布図
Fig. 4 A point diagram for using a PC

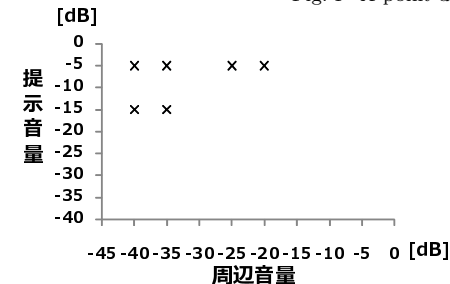


図5 会話時の散布図
Fig. 5 A point diagram for conversation

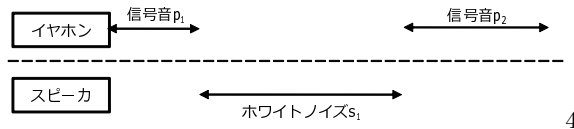


図 6 実験方法
Fig. 6 experimental methodology

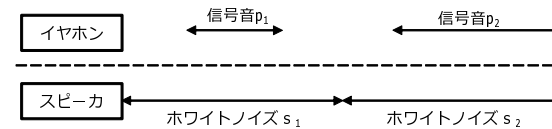


図 9 実験方法
Fig. 9 experimental methodology

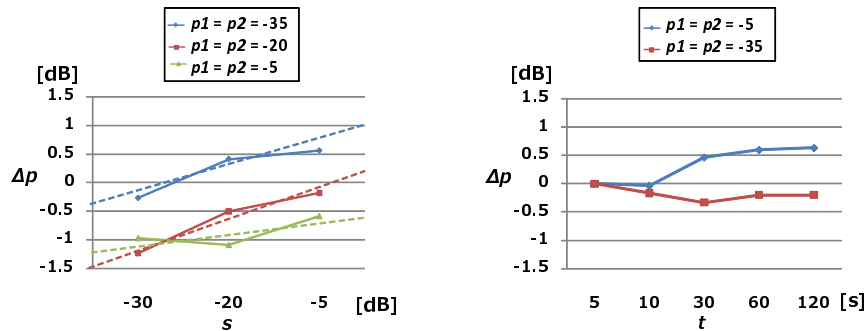


図 7 $t = 60[s]$ の時の Δs
Fig. 7 Δs with $t = 60[s]$

図 8 $p_1 = p_2 = -35[dB]$ の時の Δs
Fig. 8 Δs with $p_1 = p_2 = -35[dB]$

た音量 Δp は、周辺音量 s に対して比例関係がみられる。この傾向から、周辺音量に対する調整された音量について最小二乗法を用いて近似直線を求めた。求めた直線を図 7 に点線で示す。この直線を用いて、提示前一定期間の周辺音量から Δp を導出し、提示音の物理的音量を調節することで、主観音量を一定に保つことができると考えられる。

次に図 8 に注目する。図 8 は $p_1 = p_2 = -35$ と固定し、 $s = -5, -100$ (無音) の場合のホワイトノイズの再生時間 t に対する調整された音量 Δp を示す図である。結果から、 t が 10[s] 以下の場合には s が $-5[dB]$ 、 $-100[dB]$ (無音) の場合ともに Δp は 0 に近い値をとっており、主観的音量に変化はみられない。一方、 t が 30[s] 以上になると $s = -5$ の場合の Δp が大きくなり、 $\Delta p = 0.5$ 付近で安定する傾向がみられる。各 t において、 $p_1 (= p_2)$ による Δp の有意差を t 検定 (有意水準: 0.05) を用いて判別した結果、 $t \geq 30$ の場合に有意差がみられた。つまり、前回の提示から 10~30 秒以上経過すると、それまでに得た周囲の雑音の影響で、主観的音量に変化がみられるといえる。

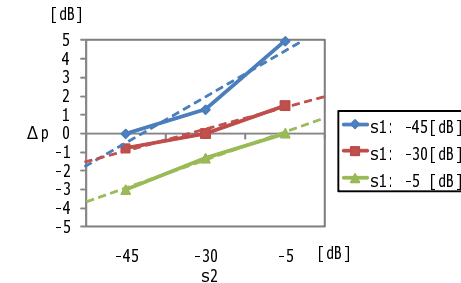


図 10 提示時の周辺音量による主観的音量の変化
Fig. 10 Change in subjective volume according to the volume of surrounding sound when presenting

このように、提示までの周辺音に対する聴覚の慣れの影響により、等しい物理的音量の音でも異なる音量に感じる傾向があり、この結果をもとに適切に物理的音量を調整することで、主観的音量を一定に保つことができると考えられる。

4.2.2 提示時の周辺音量が主観的音量に与える影響

提示時の周辺音量がどのように主観的音量の変化に影響を与えるかを調べるため、以下の方法で実験を行った。まず、実験環境に設置したスピーカからホワイトノイズ (音量 s_1) を再生した状態で、被験者が装着したイヤホンから信号音 (音量 p_1 , 1[kHz]) を 7 秒再生した。その後、スピーカから再生するホワイトノイズの音量を変更し (音量 s_2)、再度イヤホンから信号音 (音量 p_2) を再生した。この際、被験者は p_1 と p_2 が等しい音量と感するように音量 p_2 を調節し、調節された音量 Δp を記録した。ただし、2 回の信号音の提示音量は等しくし ($p_1 = p_2$)、そのことを被験者に伝えずに実験を行った。実験方法を図 9 に示す。なお被験者は 21~24 才の男女 14 名である。

実験結果を図 10 に示す。まず、 $s_1 = -45$ の場合に注目すると、 $s_2 = -45$ 、つまり周辺音量に変化がなければ、 Δp は 0 となり主観的音量に変化はみられないが、 s_2 が大きくなる

につれて、 Δp は大きくなる傾向がみられる。つまり、提示時の周辺音量が、前回と比較して大きくなるにつれて、主観的音量が減少するといえる。また、 $s_1 = -5$ の場合に注目すると、 $s_2 = -5$ 、つまり周辺音量に変化がなければ、主観的音量に変化はみられないが、 s_2 が s_1 と比較して小さくなると、主観的音量が増加する傾向がみられる。したがって、主観的音量は物理的音量によって一意に決まらず、提示時の周辺音量との相対的な大きさに影響され上下すると考えられ、主観的音量を一定にして音声情報を提示するためには提示時の周辺音量によって、物理的音量を適切に調整する必要がある。ここで、各 s_1 において、調整された音量 Δp は、周辺音量 s_2 に対して比例関係がみられる。この傾向から、周辺音量 s_2 に対する調整された音量 Δp について最小二乗法を用いて近似直線を求めた。求めた直線を図 10 に点線で示す。この直線を用いて、提示前一定期間の周辺音量から Δp を導出し、提示音の物理的音量を調節することで、主観音量を一定に保つことができると考えられる。

4.3 提示方法制御手法

ここでは、4.1 節と 4.2 節の結果をもとに、ユーザ状況を考慮して提示方法を動的に制御する手法を述べる。提案手法は 2 つの機構からなる。まず、提示方法動的変更機構は、ユーザ状況によって提示音量の変更やアラート音の再生を動的に行い、正確で、ユーザに不必要にストレスを与えない方法で音声情報を提示するための機構である。次に、主観的音量均一化機構では、ユーザの感じる主観的音量を一定にするために、提示までの過去の周辺音量によって提示音の物理的な音量を適切に変更する機構である。

これらの機構は正確で快適な情報提示を行うため、また主観的音量を一定にするために適切な提示音量を取得したユーザ状況より導出する。提案手法では導出された 2 つの音量の大きい方を提示音量として採用する。これは、3 章で述べた要件において、正確性は情報提示において最優先すべき事項だと考えたためである。提案手法の動作フローを図 11 に示す。提案手法は以下のステップで音声情報の提示方法を決定する。

(1) 活動状況、周辺音の取得

音声情報を出力する際、提示時の周辺音量、提示前一定期間の周辺音量、活動状況を取得する。周辺音量はマイクを使用して測定し、活動状況については 3 軸加速度センサやマイクを用いて認識する。本研究ではタスクなし、歩行、ジョギング、PC 操作については文献 16)、17) で示されているような、会話に関しては 6) で示されているような手法を利用することを想定している。

(2) 提示方法動的変更機構

正確で快適な情報提示を行うため、(1) で取得した提示時の周辺音量、活動状況より、4.1

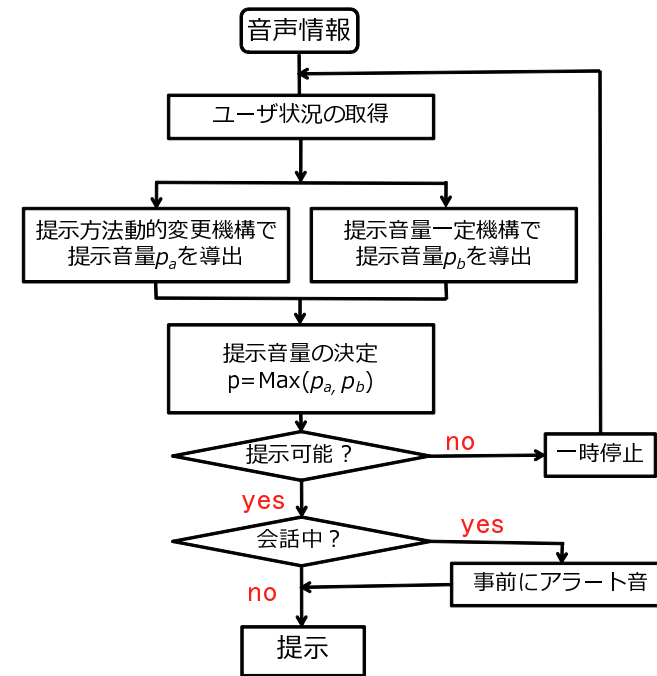


図 11 提案手法の動作チャート

Fig. 11 A flowchart of proposed method

で求めた近似直線の式を用いて提示音量 p_a を導出する。ただし、会話時にはタスクなしの場合の近似直線の式を用いる。

(3) 主観的音量均一化機構

主観的音量を一定にするため、(1) で取得したユーザ状況より、適切な提示音量 p_b を導出する。ここで、提示時の周辺音量において、前回の提示時との差が c [dB] 以上であれば、提示時の周辺音量が主観的音量により強く影響を与えられられるため、図 10 における近似直線を用いて Δp を導出し、前回の提示音量に加算したものを p_b とする。提示時の周辺音量において、前回提示時との差が c [dB] 以下であれば、提示前一定期間に得た周辺音がより強く影響すると考えられるため、図 7 における近似直線を用いて Δp を導出し、前回の提示音量に加算したものを p_b とする。ただし、図 7 より、前回の提示からの経過時間が 30

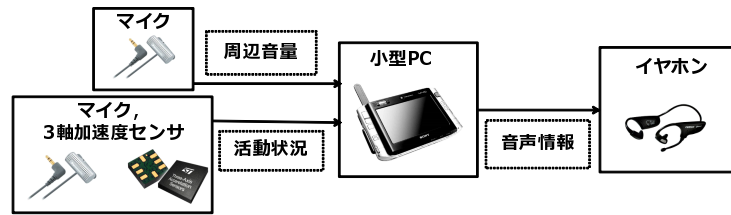


図 12 システム構成
Fig. 12 System structure

秒以下であれば、主観的音量は変化しないと考えられるため、 $\Delta p = 0$ とする。

(4) 提示方法の決定

導出された 2 つの提示音量のうち、大きい方を提示音量として採用し、提示を行う。これは、正確性は情報提示において最優先すべき事項であると考えられ、(2) の提示方法動的変更機構で導出される音量より大きい音量で提示すれば、正確な情報提示ができると考えたためである。ただし、4.1 より、ユーザが会話中であれば、提示音量の変更では正確な情報提示はできないと考えられるため、アラート音を鳴らし、ユーザの注意をひく。また、導出された音量が大きすぎて提示が不可能な場合は一時停止し、提示可能となった後に提示する。

4.4 実装

提案システムのプロトタイプシステムを実装した。開発は Windows XP 上で Microsoft Visual C# 2005 を使用し、音声情報制御のために DirectX の DirectSound を使用した。実装したシステムは、3 軸加速度センサとマイクを使用して活動状況を取得する。具体的には、まず「タスクなし」、「歩行」、「ジョギング」、「PC 操作」については右腕、腰、右足に装着した 3 つの 3 軸加速度を用いて認識を行い、センシングデータをの 0.5 秒間の平均値および分散値を特徴量として、SVM¹⁸⁾ により学習および認識を行う。「会話」については首元に装着したマイクを用い、取得した音に言語が含まれているかどうかを音声認識器 Julius¹⁹⁾ を用いて調べ、言語が含まれていればそれ以降 10 秒間を「会話中」とした。システム構成を図 12 に示す。またアプリケーションとして、twitter²⁰⁾ のタイムラインの更新内容を読み上げる twitter 音声クライアントと現在地付近のグルメ情報などを音声で配信する地域情報サービスを実装し、動作の確認を行った。これらのアプリケーションの提示方法は提案手法により決定される。

表 1 主観的音量均一化機構の評価結果

Table 1 Evaluation result of making constant subjectivity volume mechanism

評価	1	2	3	4	5
主観的音量均一化機構	0	6	88	4	2
一定 (-35[dB])	1	9	81	8	1

5. 評価実験

提案手法の有効性を実装したプロトタイプシステムを用いて評価する。ここでは、提示前一定期間に得た周辺音量により、提示音の物理的音量を適切に調節する事で、実際に主観的音量を一定に保つことが可能かどうかを評価した。具体的には、被験者の装着したイヤホンから 7 秒の信号音を t 秒間隔で 10 回提示し、信号音間の t 秒間には、音量 s [dB] のホワイトノイズを実験環境に設置したスピーカから流した。ここで、 t は 10 秒以上 120 秒以下、 s は -40[dB] 以上 0[dB] 以下の乱数とした。各信号音の音量 p_i ($0 \leq i \leq 10, p_0 = -35$) は、図 7 の近似直線を用いて導出した場合と一定の提示音量 (-35[dB]) で提示した場合についてそれぞれ実験を行い、比較した。被験者は提示された信号音に対して、前回との音量の違いを 5 段階 (1:違和感を感じるほど小さい, 2:どちらかといえば小さい, 3:同じ音量, 4:どちらかといえば大きい, 5:違和感を感じるほど大きい) で評価した。

実験結果を表 1 に示す。表 1 は、5 段階の評価において、各評価が記録された回数を表す。表 1 より、主観的音量均一化機構で提示した場合のほうが、前回と同じ音量を示す評価が 3 の回数が多くみられた。つまり、主観的音量均一化機構により、物理的音量を調整する事で、主観的音量を従来より一定に保つ事が出来たといえる。しかし、音量の変化を感じた事を示す 2 や 4 の評価もいくつかみられた。これらは、主観的音量は個人による差が比較的大きくみられるため、また予備実験におけるデータ数が不十分であったためだと考えられ、今後改善する必要がある、また、提案手法では、主観的音量に影響を与える要因を提示前や提示時の周辺音量としたが、それ以外の要素が主観的音量の変化に影響を与えているとも考えられ、今後検討する必要がある。

6. まとめ

本稿では、ウェアラブルコンピューティング環境において、違和感のない音声情報提示を実現するため、ユーザ状況の変化に応じて提示音の物理的音量を適切に変更し、ユーザが

主観的に感じる音量をできるだけ一定にして提示を行う機構を新たに提案した。本稿では、まず予備実験の結果により、主観的音量の変化と提示までの一定期間に得た周辺音量の関係を明らかにし、その結果をもとに主観的音量を一定にする手法を提案した。さらに、筆者がこれまでに提案した音量などの提示方法を動的に変更する機構と、今回提案した機構を適切に切り替え、組み合わせる事で効果的な情報提示手法を構築した。評価実験から、主観的音量均一化機構によって、主観的音量を一定に保ち、提示音量の変化に対する違和感のない情報提示ができる事を示した。

今後の課題としては、多様な状況で実験を行うことで、音声情報の認識、主観的音量の変化に影響を与える要因を一般化する必要がある。また、音声提示中の音量変更を適切に行うことで、提示中の環境変化に対応する手法を提案する予定である。また、提示方法動的変更機構と主観的音量均一化機構を組み合わせ、実環境において評価を行う必要がある。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)および文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(20240009)、特定領域研究(21013034)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 津村弘輔, 井上亮文, 加藤淳也, 住谷哲夫, 重野 寛, 岡田謙一: ウェアラブルコンピュータに適した最適な情報提示方法の評価, 情報処理学会研究報告(グループウェアとネットワークサービス), Vol.2005, No.49, pp.13-18 (2005).
- 2) 矢高真一, 田中宏平, 寺田 努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピューティングのための状況依存音声情報提示手法, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.12 (2010 to appear).
- 3) 田中宏平, 寺田 努, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピュータのためのユーザ状況を考慮した知覚影響度に基づく情報提示手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, Vol.2008, No.1, pp.1479-1486 (2008).
- 4) 田中宏平, 岸野泰恵, 宮前雅一, 寺田 努, 西尾章治郎: 光学式シースルー型 HMD のための読みとりやすさを考慮した情報提示手法, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.4, pp.1847-1858 (2007).
- 5) Kern, N. and Schiele, B.: Context-Aware Notification for Wearable Computing, *Proc. of 7th IEEE International Symposium on Wearable Computing(ISWC'03)*, pp.263-274 (2003).
- 6) Sawhney, N. and Schmandt, C.: Nomadic Radio: Speech and Audio Interaction for Contextual Messaging in Nomadic Environments, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol.7, No.3, pp. 353-383 (2000).
- 7) ソニー・エリクソン・モバイルコミュニケーションズ株式会社, URBANO MOND, http://www.sonyericsson.co.jp/product/au/urbano_mond/index.html.
- 8) 大久保 忠俊, 田浦 賢一: 音響再生装置の自動音量調整を目的とする周囲騒音レベル推定方式の一検討: コンシューマエレクトロニクス, テレビジョン学会技術報告, Vol. 17, No. 36, pp41-46, 1993.
- 9) 富士通株式会社, らくらくホン プレミアム, <http://www.fmworld.net/product/phone/f884i/>.
- 10) 庄司 武, 中村聡史, 塚本昌彦, 西尾章治郎: ウェアラブル環境における音声データのハイパーリンク型ナビゲーションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.5, pp.1380-1391 (2003).
- 11) Wilson, J., Walker, N. B., Lindsay, N., Cambias, C. and Dellaert, F.: SWAN: System for Wearable Audio Navigati on Wearable Computers, *Proc. of 11th IEEE International Symposium on Wearable Computing(ISWC'07)*, pp.91-98 (2007).
- 12) 広田光一, 廣瀬通孝: ウェアラブルのための聴覚定位によるインタラクション手法, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.1, pp.156-165 (2003).
- 13) Cheverst, K., Davices, N., Mitchell, K., Friday, A., and Efstratiou, C.: Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences, *Proc. of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI 2000)*, pp. 17 - 24 (2000).
- 14) 沖電気工業株式会社, <http://www.oki.com/jp/profile/info/>.
- 15) 柏野牧夫, 平原達也: 一度に何人の声を聞き分けられるか?, 日本音響学会研究発表会講演論文集, Vol.1996, No.1, pp. 467-468 (1996).
- 16) Murao, K., Terada, T. and Nishio, S.: Toward Construction of Wearable Sensing Environments, Book Chapter, (Eds. T. Hara, V.I. Zadorozhny, and E. Buchmann), *Wireless Sensor Network Technologies for Information Explosion Era (Book Series: Studies in Computational Intelligence)*, Springer-Verlag, Vol. 278, pp. 207-230 (2010).
- 17) 佐藤 誠, 森田千絵, 土井美和子: 生体データと加速度データを用いた行動認識, 情報処理学会第 65 回全国大会論文集, Vol.5, pp. 211-214 (2003).
- 18) Vapnik, V.: *The nature of statistical learning theory*, Springer (1995).
- 19) 音声認識システムの開発・研究のためのオープンソースの高性能な汎用大語彙連続音声認識エンジン julius, <http://julius.sourceforge.jp/>.
- 20) twitter, <http://twitter.com/>.