

マルチスピーカシステムのための パンニングモジュレーションの基礎検討

安藤 大地^{1,a)}

概要: 本稿では、クアドロフォニック、5.1ch、7.1ch などのマルチチャンネルスピーカセットやサラウンドパンニングを用いる電子音響音楽において、視聴者の位置によっては音量・音圧などを非常に不快に感じてしまうという問題を、パンニングモジュレーションという形で解決する手法の基礎検討を行った。具体的には任意の周波数を持った任意もしくはランダム生成した波形に任意の周波数を与え Amplitude Modulation の変調波として用いることで、非サイトスペシフィックかつマルチスピーカの効果を「なんとなく」発揮させることがわかった。

A Basic Study about Panning Modulation for Multi-Speaker System

DAICHI ANDO^{1,a)}

Abstract: In this paper, a new panning method for multi-speaker system such as quadrophonic, expanding amplitude modulation, is proposed. Features of the proposing method is that simple to implement with real-time music dsp programming language for music performance, and needed very cheap processing cost. As a result of hearing experiment, it is recognize that proposing method provides characteristic musical acoustics without site-specification.

1. はじめに

1.1 マルチスピーカのパンニング

クアドロフォニック、5.1ch、7.1ch などのマルチスピーカシステムは、近年特に映画館での鑑賞を対象としてミキシング・マスタリング手法の研究が盛んである。しかし単純なステレオパンニングの手法を応用しただけでは視聴者の位置によって不快に感じられることが多い。例えばシューボックス型映画館の壁側に座っている視聴客は、台詞などに比べ特定のパンニングの時に効果音などが大きくなりすぎ、パンニングを施したミキシング・マスタリングエンジニアが意図しない音響で聴取することになる。

2015 年より独立系シネコンである立川シネマシティ^{*1}が集客の目玉として行っている大規模配給作品の「極上爆

音上映」^{*2}では、サブウーファーを多く配置し、かつツイーターのキャパシティを多めに取ってあるスクリーン（現在は 2 スクリーン体制）に合わせた専用のミキシング・マスタリングされたサウンドトラックにより、映画の「映画館での視聴」を強く動機づけ、近年稀に見る量の集客に成功している。しかしながら、このサウンドトラックの専用ミキシング・マスタリングでは基本的にサブウーファーとツイーターのバランスやイコライジングに終始しており、劇場特有のサラウンド効果を引き出すまでには及んでいない。映画館向けのサラウンドパンニング付与には非常に大きな時間的コストがかかり、また劇場のスピーカ配置に強い影響を受けてしまう（劇場依存、サイトスペシフィック）ことから、厳密なスピーカ配置が想定されている家庭向け映像ソフトの 5.1ch や 7.1ch サラウンドよりも手間がかかり、通常配給される映画作品ではごく単純なサラウンドパンニングの付与しか行われていないのが現状である。

¹ 首都大学東京システムデザイン学部
Tokyo Metropolitan University

^{a)} dand2016@infocamp.jp
dand2016@infocamp.jp

^{*1} <https://cinemacity.co.jp>

^{*2} 以前から爆音上映と名打たれた上映は行われていたが、そのほとんどが小規模配給作品・小規模映画館に限られていた。

対して、マルチチャンネルスピーカを用いる電子音響音楽では、古くから実験的な試みが行われてきた。映画館でのサラウンド上映が始まる^{*3}以前よりマルチチャンネルスピーカの表現に音楽家たちは取り組んできた。例えば大阪万博の西ドイツ館におけるシュトックハウゼンの試み[5]などがあげられる。シュトックハウゼンの手法は、単にミキサーフェーダーの上げ下げによる音量のコントロールのみで、もし視聴者がスピーカに近づくことが可能であったら、同じく音量・音圧の問題が生じていたと推測される。

これに対し、Chowning による通称 John Chowning Reverb[1]では、特定のスピーカの音量の上げ下げだけではないパンニングを簡易的な Spatialization とも言えるアルゴリズムで実現し、パンニング時のスピーカの音圧の違いによる違和感を吸収している。さらに従来の音量コントロールのみによるサラウンドパンニングでは作品がサイトスペシフィックになってしまうが、John Chowning Reverb は音量は大きくとも音圧を感じないという特性からサイトスペシフィックになりづらいという特徴を持つ。

近年は音楽制作用・パフォーマンス用のコンピュータのリアルタイム DSP 能力の向上により、厳密なスピーカ配置を前提とし位相やイコライジングまで考慮した緻密なアルゴリズムによる Spatialization 手法の採用が好まれるようになり、作品のサイトスペシフィック性が再び高まっていた。ZKM の Zirkonium とその専用ミキシング・制御ソフトウェア[3]は、シュトックハウゼンが用いたハードウェアを現代の Spatialization アルゴリズムで制御しようとしており、その典型とも言える。

1.2 新たな Spatialization 手法とモジュレーション

そのような状況の中 Timmermans が提案した処理コストが低く作品用プログラムとして容易に実装可能な(具体的に言えば音楽作品用の音響処理言語として現在最も多く使われる Max 系言語の基本機能のみで容易に実装できる)アルゴリズムを持つ Spatialization 手法[4]と、それを実現した Timmermans 自身の作品では、サイトスペシフィック性を低くし、会場に多数設置されたスピーカのサラウンド効果を「なんとなく」引き出すことに成功している。

さらに McGee の “Spatial Modulation Synthesis”[2]では、Spatialization に与えるパラメータにサイン波などを適用し、Spatialization のアルゴリズムそのものをモジュレーションとして用い音色変化に利用している。これはパンニングのパラメータコントロールにモジュレーションのように波形を利用することである。

Timmermans と McGee の手法は、どちらも非常に原始的な Amplitude Modulation や Frequency Modulation

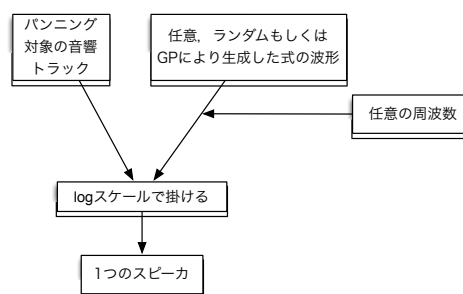


図1 提案手法の概要

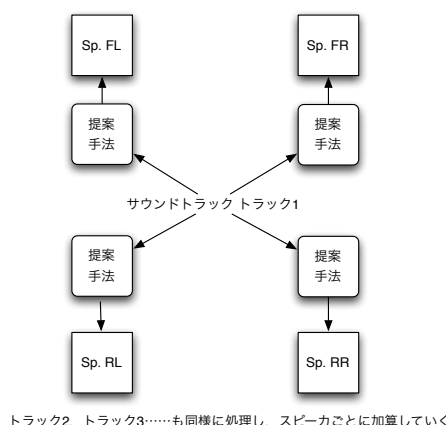


図2 クアドロフォニックの場合のサウンドトラック中の1チャンネルの振り分け方。これをチャンネル数分繰り返して、各スピーカで合計し、出力する。

などのごく基本的なモジュレーションに近いアイデアを Spatialization に持ち込んでいると言える。

2. 提案手法

2.1 基本的なアイデア

著者は McGee の手法に Timmermans のアイデアを取り込み、各サウンドトラックを各スピーカにアサインする際に、任意の波形により音量コントロールを行い、モジュレーションのような音量変化をするマルチチャンネルスピーカのためのパンニング手法を実装した。図1と図2に概要を示す。

任意もしくはランダムに生成した数式によって生成される波形が任意の周波数をとるようにし、これを元信号に log スケールでかけてスピーカに送る。つまり単純に一つのトラックが各スピーカに振り分けられる時の音量に任意の波形かつ任意の周波数の Amplitude Modulation がかかっている状態と言える。

2.2 簡易的な主観聴取実験

以下の簡易実験では、具体音を加工せずに並べたマルチトラック(同時発音トラック数12)電子音響音楽作品を音源ソースとして用い、電子音響音楽の作曲家が聴取を行った。

^{*3} アナログマトリックスエンコードでは「スターウォーズ第1作品(エピソード1)」「スターウォーズ第2作品(エピソード2)」「スターウォーズ第3作品(エピソード3)」「スターウォーズ第4作品(エピソード4)」

2.2.1 変調周波数が高い時

具体音に Amplitude Modulation を適用する場合、変調周波数が概ね 20Hz~である、単なる音量変化ではなく音色変化を伴うエフェクターとしてのモジュレーションとして聴こえることが電子音響音楽の作曲家には経験的に知られている。

スピーカがステレオかつサイン波によって変調した場合では、20Hz~40Hz ぐらいでは主観聴覚上、エフェクターとしての Amplitude Modulation の音色ではなく通常の「飛び回る」ステレオパンニングとして聴こえた。またスピーカに近寄って聴取したところ音圧とその変化を不快に感じた。

スピーカ配置をクアドロフォニックに拡大し、同様に 20Hz~40Hz のサイン波によって変調したところ、認知できる音響が複雑化した。実際に人間の耳に到達した波形は、単に各チャンネルに Amplitude Modulation をかけてそれを合計したものであるはずだが、音の定位感を感じるか感じないか判断に困る状態となり、エフェクターとしてモノラルの Amplitude Modulation を用いた時より主観聴覚上複雑な空間的効果を感じた。またスピーカに近寄った時の不快な音圧に関しては、これを強くは感じなかった。

変調に用いているサイン波を何種類かの任意の複雑な波形に変更したところ、サイン波により変調した時との主観聴覚上の相違は見られなかった。

2.2.2 変調周波数が低い時

クアドロフォニックの状態に変調に用いているサイン波の周波数を低くし、1Hz~10Hz の範囲で動かしながら聴取したところ、主観聴覚上単純なパンニングと同様に聴こえ、目新しい聴覚上の効果を得ることができなかった。スピーカに近寄った時の音圧変化に関しては、これをやや不快に感じた。

ここで変調に用いたサイン波を何種類かの任意の複雑な波形に変更したところ、主観聴覚上サイン波の時に比べ定位感がなくなり音が広がるような感じを受けた。これは与えた複雑な波形は高周波数帯域と程周波数帯域の両方を含むことが原因であると考えられる。またこの状態ではスピーカに近寄った時の音圧変化を不快に感じることはなかった。

著者はこの「任意の波形」を対話型遺伝的プログラミングの時系列関数生成にて生成し、低周波数で動かし、様々な複雑な聴覚上の効果を得られることを確認した。

2.3 考察と今後の展開

この「複雑な波形を低周波数で」という条件で聴取した音響の定位感は、前述の Timmermans の手法で生成した定位感と似ており、「なんとなく」サラウンドになっている、というものであった。Timmermans の手法も決して高い処理コストを必要とするものではないが、提案手法は、

- (1) アルゴリズムの実装が Amplitude Modulation の重ね合わせという非常にシンプルかつ任意の波形を入力に与えることができ違った効果が出せ
- (2) 聴取者がスピーカに近い位置にいてもあまり不快に感じない

という 2 点において、実際の作品制作に応用しやすいと著者は考える。

しかしながら、今回行った簡易実験は普段から電子音響音楽を作曲し聴き慣れた作曲家の主観によるものであり、聴覚認知などの観点からは考察が行えておらず、裏付けがない状態である。電子音響音楽のような音源のパンニングについては Spatialization の物理的な側面からの研究・考察は多くあり手法の開発が進んでいる。しかし電子音響音楽に関しての明確な認知領域からの研究は全くと言っていいほど存在せず、作曲家の経験に頼っている部分が多い。

スピーカに近い位置で聴取した時の音圧の変化を不快に感じるかどうかに関しては、電子音響音楽に慣れている聴取者とそうでない一般の聴取者の間には、認知の明確な差異が存在すると予想できるため、調査を行う意義があると著者は考えている。この点については被験者実験を行い、明らかにしていく必要がある。

3. おわりに

本稿では Amplitude Modulation を応用したパンニングモジュレーションと呼べる非常に実装が容易かつ処理コストが低い手法を提案した。提案手法を用いて主観聴取実験を行ったところ、聴覚上複雑に聴こえ、かつスピーカの近くに聴取者がいても通常のパンニング手法に比べ不快感を感じない、という音響の生成が行えることを確認した。

しかしながら、現段階では実験は主観的なものに止まっており、明確にメソッドとして成立はしていない。今後は音楽家だけではなく一般の聴取者を対象に聴取実験を行い、提案手法を確立していく。

参考文献

- [1] Chowning, J. M.: The Simulation of Moving Sound Sources, <https://ccrma.stanford.edu/courses/220a-fall-2001/chowning.pdf> (10.3.2001).
- [2] McGee, R.: Spatial Modulation Synthesis, *Proceedings of the International Computer Music Conference(ICMC) 2015*, pp. 246-249 (2015).
- [3] Miyama, C., Dipper, G. and Brümmer, L.: Zirkonium MK III - a toolkit for spatial composition, *Journal of the Japanese Society for Sonic Arts*, Vol. 7, No. 3, pp. 54-59 (2015).
- [4] Timmermans, H.: Sound Spatialisation from a Composer's Perspective, *Proceedings of the International Computer Music Conference(ICMC) 2015*, pp. 322-325 (2015).
- [5] 水野みか子: 1970 年大阪万博のシュトックハウゼン音楽における空間性理念の側面から一、先端芸術音楽創作学会会報, Vol. 2, No. 3, pp. 21-26 (2010).