

音楽イベントにおける集団行動の同期科学解析による 演出支援デバイスの設計

片平 菜緒¹ 谷森 一貴² 池田 亘¹ 齊藤 裕樹¹

概要: 現在, 音楽イベントでは観客がペンライトやサイリウムといった応援アイテムを持って参加する形態が普及している. 従来の応援アイテムは, 主催者側が点滅の周期や色を無線制御することによりイベントの演出を行っていたが, 規模の大きいイベントでは制御にコストがかかり, また, 制御が主催者側により行われるものであるため, 観客の意思が反映されないという問題点が挙げられる. 本研究では, 観客の持つ応援アイテムが自律的に近距離無線通信を行い, 同期科学における引き込み現象の原理を利用し, 応援アイテムの点滅周期を揃えることで, 観客同士の動作の情報を共有するシステムを提案する.

1. はじめに

音楽イベントにおいて, 観客がペンライトやサイリウムなどの応援アイテムを持ち参加することが一般的となっている. 観客はそのときの雰囲気や感情に合わせてアイテムを振るなどして楽しむことができる. 従来, 主催者側がこれらの応援アイテムを無線で制御することにより, 観客の持つライトの光を同じ周期で点滅させることや, 観客の場所によって色を変化させることで, 演出の一部として利用するイベントが存在する. しかし, 規模の大きいイベントでは観客の数が多いためすべてのデバイスを無線で制御するにはコストがかかる. また, このシステムではライトの点滅する周期や色が主催者側によって制御され, 観客にとっては受動的なものとなっているため, 観客の意思が反映されないという問題がある. これに対して, 従来, 音楽イベントでの利用を想定した加速度センサを用いた応援アイテムの研究 [1], [2] が存在するが, 一人のユーザを対象としたもので, 集団の動作の解析は行われていない.

そこで, 本研究では, 主催者側のコストの問題の解決および観客の意思反映の要件を満たすことを目的として, センサを組み込んだペンライトなどの応援アイテムが自律的に近距離無線通信を行うことで, 観客同士の動作の情報を共有するシステムを提案する. 効果的な演出を支援するためには, 音楽イベントでリズムに合わせた観客の動作が一体的に揃っている状態が観客に一体感を感じさせ演出の重要な要素となるため, 同期科学における集団同期を応用し, 観客同士の動作の情報を基に応援アイテムの発光する周期

を揃える. 以上により, 個々の観客の動作から全体の観客の意思に基づき集団的な演出を効果的に行う. 図1にライブ会場でそれぞれのユーザの応援アイテムがP2P(Peer to Peer)通信で自律的に近距離通信を行い, 点滅周期を同期させる概略を示す.

本論文の構成は以下のとおりである. 本章に引き続き, 2章では, 音楽イベントでの利用を想定した, 加速度センサを組み込んだ応援アイテムの先行研究を取り上げる. 次に3章では, 同期科学における引き込み現象の原理と集団発光システムの構成について説明する. 4章では, デモ発表での構成を述べる. 最後に5章で本論文の内容をまとめ, 今後の課題を述べる.

2. 関連研究

本章では, 音楽イベントでの利用を想定した, 加速度センサを組み込んだ応援アイテムの先行研究について述べる.

装着型センサのジェスチャ認識に基づく音楽ライブイベントの興奮感可視化システム [1] では, 腕時計型デバイスに組み込まれた加速度センサを用いてジェスチャ認識を行うことで, 音楽イベントによる観客の盛り上がりを推定している. 観客の盛り上がりをライトの色で提示することで, 演奏者に盛り上がりをフィードバックすることが可能となっている. しかし, この研究は集団としての観客の盛り上がりの促進を目的とはしていない.

ライブ会場での腕振り動作を促進するLEDライトシステムの提案 [2] では, 加速度センサを組み込んだリストバンド型のデバイスを用いて, ユーザの腕の動きに応じて光量を変えることにより観客の盛り上がりを促している. しかし, この研究では対象が一人に絞られているため, 他の

¹ 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科

² 明治大学大学院先端数理科学研究科先端メディアサイエンス専攻

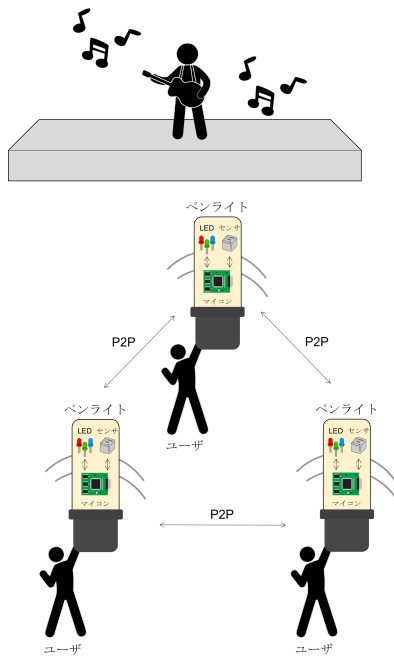


図 1 システムの実装イメージ

観客の動作や、全体としての状態は考慮されていない。本研究では、周囲の観客同士の動作の情報を共有し、観客にフィードバックを与えることでペンライトを振るタイミングなどが同期していくことを目指している。

一方、音楽のリズムに合わせた人間の行動をセンサにより計測し、周期的な動作を認識し発光を行う本システムの原理は、自律分散システムの同期解析問題として捉えることができる。時刻同期のアルゴリズムは、ネットワーク内のノードのローカル時刻を同期させることを目的に研究されてきた。インターネットで広く用いられているプロトコルに NTP (Network Time Protocol) [3] がある。また、分散計測基盤であるセンサネットワークの分野では、NTP よりも高い精度要求を満たすために RBS (Reference Broadcast Synchronization) [4] や TPSN (Timing-sync Protocol for Sensor Networks) [5] が提案されている。しかし、これらは基準となる時刻サーバの時刻にクライアントの時計を合わせる、または時刻サーバの生成する参照パケットに各クライアントが同期するアプローチを採っている。さらに、各ノードが時刻情報をセンサネットワーク上にフラッディングを行う FTSP (Flooding Time Synchronization Protocol) [6] や、同期解析のアプローチを取り入れた MAC プロトコルである RATS (Rate Adaptive Synchronization) [7] も存在する。本研究は、これらとは異なり、行動主である人間の行動周期を応援アイテムの支援によりフィードバック処理を行うことで、全体の周期を同期させることを目的とする。

3. 同期科学における引き込み現象を利用した集団発光システムの提案

本章では、同期科学における引き込み現象の原理と集団

発光システムの構成について説明する。本システムは、観客の応援アイテムの振り上げ情報から集団のリズムを推定し、観客にフィードバックを行うものである。フィードバックを受けた観客が集団のリズムに合わせ、動作の周期が再び共有されることにより、観客同士に一体感が生まれ、イベント自体に盛り上がりを感じられるようになることを狙いとしている。

3.1 点滅周期同期手法

集団の動作から全体を集約し集団のリズムを推定し、観客にフィードバックを与えるために、本研究では集約した集団のリズムを基に応援アイテムが光る周期を揃える手法をとる。このため、本研究では同期科学における引き込み現象の原理を応用する。実世界で見られる引き込み現象の例としては、ホテルの点滅同期現象が挙げられる [8]。最初はそれぞれ違うタイミングで発光していたホテルが、徐々に近くにいるホテルと同じタイミングで発光するようになるという現象であり、自然界にも多く見られる。この引き込み現象を数学的に表すため van der Pol 方程式（以下、VDP 方程式）が知られており、本研究ではこれを応用した次の式を用いる。

$$\frac{d^2\theta_1}{dt^2} = -\frac{g}{l} \sin \theta_1 - \epsilon \frac{d\theta_1}{dt} (\theta_1^2 - \theta_0^2) - k(\theta_1 - \theta_2) \quad (1)$$

$$\frac{d^2\theta_2}{dt^2} = -\frac{g}{l} \sin \theta_2 - \epsilon \frac{d\theta_2}{dt} (\theta_2^2 - \theta_0^2) - k(\theta_2 - \theta_1) \quad (2)$$

式 (1), (2) は、バネで結合された 2 つの振り子のモデルにおける周期的な運動を示している。ただし、 l は半径、 θ_0 は強制力と復元力の強さの入れ替わる角度、 θ_1, θ_2 は振り子のそれぞれの角度、 k は結合強度、 ϵ は強制力と復元力の強さ、 g は重力加速度である。

ホテルの引き込み現象を模擬したインタラクティブイルミネーションシステム [9] では、それぞれのイルミネーションモジュールの光の強さを θ_1, θ_2 として、明滅のタイミングが早いモジュールは明滅周期を徐々に遅くし、明滅のタイミングが遅いモジュールは明滅周期を徐々に早くすることで明滅周期をコントロールし、それぞれのモジュールの明滅を同期させている。

図 2 に点滅のタイミングが違う応援アイテムが徐々に点滅のタイミングが同期していくメカニズムを示す。*ItemA* は他の応援アイテムと比べて応援アイテムを振るタイミングが早く、周期が長い応援アイテム、*ItemB* は他の応援アイテムと比べて応援アイテムを振るタイミングが早く、周期が短い応援アイテム、*ItemC* は他の応援アイテムと比べて応援アイテムを振るタイミングが遅く、周期が長い応援アイテム、*ItemD* は他の応援アイテムと比べて応援アイテムを振るタイミングが遅く、周期が短い応援アイテムの信号波形である。制御機器はそれぞれのユーザーが応援アイテムを振り上げた瞬間の時刻 $start_A, start_B,$

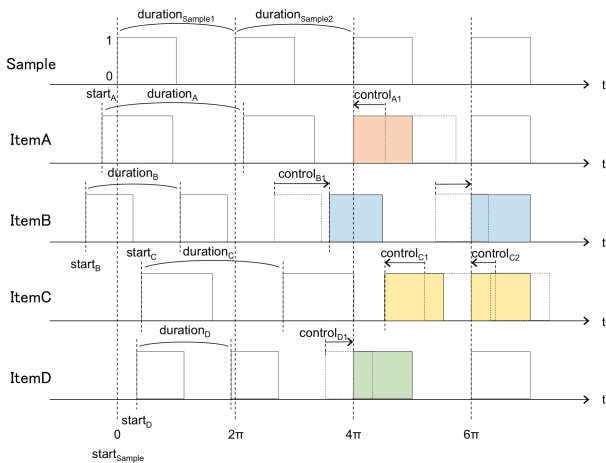


図 2 点滅同期のメカニズム

$start_C$, $start_D$ を記録する。また、2 度目以降の応援アイテムが振り上げられた瞬間に周期 $duration_A$, $duration_B$, $duration_C$, $duration_D$ (n 度目に振り上げられた時刻から $n + 1$ 度目に振り上げられた時刻までの時間) を記録する。周期は常に記録し続ける。そして、すべての応援アイテムの振り上げた時刻が記録されたときに振り上げた時刻の平均 $start_{Sample}$ を算出し、すべての応援アイテムの周期が記録されたときに周期の平均 $duration_{Sample}$ を算出する。それを基にそれぞれのアイテムを引き込む周期信号 $Sample$ を生成する。 $Sample$ の周期は $duration_{Sample}$ が更新される度に变化する。ここで、周期の平均を算出する都合上、応援アイテムを振る 3 度目のタイミングから式 (1),(2) を用いて、 $Sample$ に徐々に近づく周期信号を算出する。 $control_A$, $control_B$, $control_C$, $control_D$ は元の周期信号から算出された周期に引き込む距離である。この処理を繰り返すことにより、すべての応援アイテムを同期させる。

3.2 集団発光のシステム構成

図 3 に本システムの構成を示す。ユーザが応援アイテムを振り上げるアクションをすると水銀スイッチが ON になり、Arduino 互換マイコンを通して PC に無線通信でメッセージが送信される。PC では、それぞれのユーザから水銀スイッチの ON の出力を受信し、3.1 節で述べた点滅同期手法を用いて、点滅が徐々に揃うタイミングを各々算出し、算出されたタイミングで Arduino 互換マイコンを通して、LED に点滅の出力を返す。

図 3 のシステム構成に基づいた、応援アイテムおよび点滅同期制御システムの主なアルゴリズムを図 4, 図 5 にそれぞれ示す。図 4 は、応援アイテムが人間の周期的動作を水銀スイッチで検出した際の周期推定処理を示している。まず、初期状態において、最初の 2 周期は各種パラメータの初期設定を行い、3 周期目から加重移動平均による LPF (Low Pass Filter) で高周波成分を除去した周期を取得し、

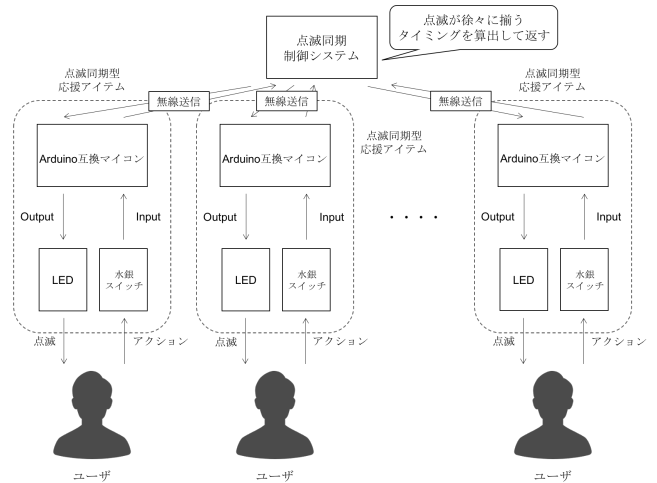


図 3 システム構成

当該周期の波長を変数 $length$, 開始時刻を変数 $start$ にそれぞれ得る。それぞれのデバイスがこれらの値を点滅制御システムにメッセージとして送信する。図 5 は、点滅制御システム (コントローラ) が、各応援アイテムから送信されるメッセージを集約し同期タイミングを計算し、各デバイスの LED 発光へのフィードバックを行う処理である。このアルゴリズムは、各応援アイテムから得られた周期情報をメッセージ到着順に算術平均を計算することで全体のリズムを求めた後、各応援デバイスに対して VDP 方程式により次周期に引き込むタイミングで LED 点灯を命令する。

なお、現在の実装では、一対一のシリアル通信を無線通信に置き換える構成をとったため、コントローラを中心とするスター型トポロジとする構成を採用したが、コントローラの動作を各ノードで行うことにより、一般的なパケット通信の環境下では単一のコントローラに依らない P2P 構成をとることが可能である。

LED の制御と水銀スイッチの検知は、「ESP8266」を用いた開発ボード「ESP-WROOM-02」に書き込んだプログラムを PC 側のプログラムから無線通信で操作する。ESP-WROOM-02 側のプログラムに LED の制御と水銀スイッチの信号受信のプログラムを書き込み、LED と水銀スイッチ、バッテリーを接続したものをペンライト型の応援アイテムの内部に搭載することで、応援アイテムを実装した。

4. デモ構成

3 章では、同期科学における引き込み現象を利用した応援アイテムの点滅同期制御システムを提案した。デモでは複数の応援アイテムを用いて、応援アイテムの振るタイミングの同期デモを行う予定である。本システムの体験者は、別の体験者と応援アイテムの点滅同期を共有することによって、自身の動作を集団的な演出として体験者の集団に参加することができる。

Algorithm.1 各ノードの周期イベントハンドラの動作

Variables:

cycle: 周期カウンタ, length: 波長, start: 周期開始時刻,
oldLength: 1 周期前の波長, oldStart: 1 周期前の周期開始時刻,
oldOldStart: 2 周期前の周期開始時刻,
alpha: LPF (加重移動平均) の重み

Functions:

getTimeofday(): 現在時刻取得,
sendMessage(start, length): コントローラに開始時刻と波長を送信

```
1: function when SW1 is closed
2: begin
3:   if cycle = 0 then
4:     oldOldStart ← getTimeofday()
5:     return
6:   end if
7:   if cycle = 1 then
8:     oldStart ← getTimeofday()
9:     oldLength ← oldStart - oldOldStart
10:    return
11:   end if
12:   if cycle = 2 then
13:     start ← getTimeofday()
14:     length ← start - oldstart
15:     return
16:   end if
17:
18:   oldOldStart ← oldStart
19:   oldStart ← start
20:   start ← getTimeofday()
21:   length ← (1 - alpha) * oldLength + alpha * (start - oldStart)
22:
23:   sendMessage(start, length)
24:
25:   cycle++
26:   return
27: end function
```

図 4 各ノードの周期イベントハンドラの動作

Algorithm.2 コントローラの集約動作

Variables:

t: 被集約ノードの周期開始時刻, l: 被集約ノードの波長,
count: 同一周期内のデータ数, start: 集約後の周期開始時刻,
length: 集約後の波長, nextStart: 集約後の次周期開始推定時刻,
lastUpdate: 周期最終更新時刻, threshold: 周期分離しきい値
id: クライアントのノード ID

Function:

ledTurnOn(id, t, l): デバイス id に対し, 時刻 t (開始時刻),
波長 l から, van del Pol 方程式により, 次回周期開始時に
LED の点灯を指示する

```
1: function receiveMessage (t, l)
2: begin
3:   if t - lastUpdate > threshold then
4:     foreach id (id ∈ N) do
5:       ledTurnOn(id, start + length * 2, length / 2)
6:     end foreach
7:     length ← 0
8:     start ← 0
9:     count ← 0
10:    return
11:   end if
12:
13:   start ← count / (count+1) * start + 1 / (count+1) * t
14:   length ← count / (count+1) * length + 1 / (count+1) * l
15:   lastUpdate ← t
16:   count++
17:   return
18: end function
```

図 5 コントローラの集約動作

おける引き込み現象の原理を利用し, 応援アイテムの点滅周期を揃えることで, 観客同士の動作の情報を共有するシステムを提案した. 今後は, 応援アイテムの点滅周期を揃えるアルゴリズムの改良を行う予定である.

参考文献

- [1] 平尾 航太, 齊藤 裕樹, 装着型センサのジェスチャ認識に基づく音楽ライブイベントの興奮感可視化システム, 情報処理学会 DICO 2016, pp. 1801–1803, 2016.
- [2] 磯山 直也, 寺田 努, 塚本 昌彦, ライブ会場での腕振り動作を促進する LED ライトシステムの提案, Ubiquitous Wearable Workshop 2014, p. 24, 2014.
- [3] Mills, D. L., Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol, *IEEE Transaction on Communication, Vol. 39, No. 10*, pp. 1482–1493, 1991.
- [4] Elson, J., Girod, L., Estrin D., Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts. *Proceedings of the Fifth Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 2002)*, pp. 147–163, 2002.
- [5] Ganeriwal, S., Kumar, R., Srivastava, M. B., Timing-sync protocol for sensor networks. *Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003)*, pp. 138–149, 2003.
- [6] Maroti, M., Kusy, B., Simon, G., Ledeczi, A., The flooding time synchronization protocol. *Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2004)*, pp. 39–49, 2004.
- [7] Ganeriwal, G., Tsigkogiannis, I., Shim, H., Tsiatsis, V., Srivastava, M. B., Ganesan, D., Estimating Clock Uncertainty for Efficient Duty-Cycling in Sensor Networks, *Proceedings of the Third ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2005)*, pp. 130–141, 2005.
- [8] Steven H. Strogatz, Sync: How Order Emerges From Chaos In the Universe, Nature, and Daily Life, Hachette Books, 2004.
- [9] 西 裕子, 櫻沢 繁, 美馬 義亮, 山本 敏雄, ホタルの引き込み現象を模擬したインタラクティブイルミネーションシステム, 情報処理学会インタラクシオン 2012, pp. 385–390, 2012.

5. おわりに

本研究では, 応援アイテムの制御コストの削減, ライブイベントへの観客の意思の反映を目的として, 同期科学に