

屋外拡声システムにおける拡声装置間距離を考慮した 音情報重複低減アルゴリズムの検証

村上 弾^{1,a)} 小野口 平^{1,b)} 荻木 禎史^{1,c)}

概要：防災無線システムにおいて、屋外拡声設備は重要な役割を担っている。しかし、あるスピーカから音を放射したとき、受聴点においてそのスピーカからの直接音と、地形や建物による反射音や隣接する他のスピーカからの音が、同時に聞こえることによって、音の聞き取りやすさを阻害する問題がある。本研究の目的は、各スピーカが周囲の環境に適応し、自律的に放射タイミング及び放射音圧レベル制御を行うインテリジェント拡声システムの研究、開発を行うことである。本稿では、実際の防災無線システムのスピーカの設計事例を用いて、先行研究で提案されたスピーカ間の距離を考慮した放射タイミング制御アルゴリズムの有効性を検証した。

キーワード：地域情報システム、環境情報システム、情報と情報技術、組合せ理論

Evaluation with algorithm reduce sound information overlaps based on distance between speakers in open-air loudspeaker broadcasting

Abstract: In disaster prevention system, open-air loudspeaker system plays an important role. However, this kind of system has some problems. One of the problems is long path echo that means that the reflected sound by buildings or terrain or sound which is radiated from other loudspeaker with time delay arriving at a listening point. The purpose of this research is to develop an intelligent loudspeaker system, to deal with the above problems. This system has functions that each loudspeaker can control the sound pressure level of the sound and radiation time. In this paper, we verify efficiency of the radiation timing control algorithm proposed by previous works in arrangement of loudspeakers based on case of actual arrangement plan of loudspeaker of disaster prevention system.

Keywords: Local information system, Environmental information system, Information and information technology, Combination theory

1. はじめに

昨今の情報技術を駆使した災害時情報伝達手段の研究が盛んに行われており、多岐に渡る伝達手段が検討されているが、従来から利用されている地域ごとの屋外一斉放送も重要な役割を担っている。防災無線のような屋外一斉拡声設備は市町村単位で設置されている。実際の配備事例をみると、一局のスピーカの一般的なサービスエリアは約 200

m から 300 m である。そのため、一つの区域内で多数のスピーカが隣接して存在する。屋外拡声設備について、音の聞き取りやすさ、明瞭度を大きく阻害する要因がいくつか存在する。屋外における明瞭度や音の伝搬予測について、盛んに研究が行われている [1], [2], [3]。明瞭度を阻害する要因として、スピーカから放射した音が地形や人工物にぶつかって反射してきた音が直接音と比較して長い遅延時間を伴って聴取点に到達するロングパスエコーによる影響があり、また、隣接スピーカから放射された音が重複する場合においても、明瞭度が低下すると考えられる。[3], [4], [5]。

明瞭度を改善するための先行研究として、スピーカアレイを用いたスピーカから放射する音の指向性制御を行う手法について検討がなされ、指向性制御の可能性が確認され

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科
Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami Chuo-ku, Kumamoto City, 860-8555 JAPAN

a) dan@hicc.cs.kumamoto-u.ac.jp

b) taira@hicc.cs.kumamoto-u.ac.jp

c) chisaki@cs.kumamoto-u.ac.jp

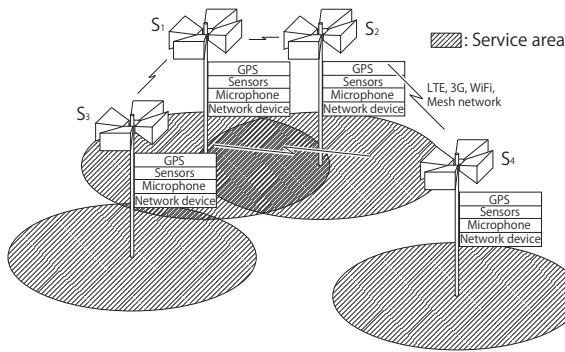


図 1 Schematic diagram of intelligent loudspeaker system.

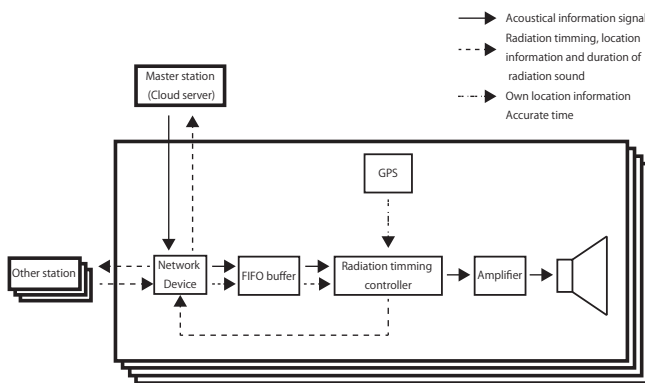


図 2 Block diagram of radiation timing control algorithm.

たが、制御点における制御性能は観測点において十分に安定した制御は確立されていない [6]。また、スピーカから放射された音声がそれ自体の音響信号の反射によって明瞭度が下がる問題に対して、室内音響ではあるが、放射する音声の発声法や発声レートを工夫する手法について検討がなされている。これは、屋外での可能性も考えられるが示されていない [7]。また、スピーカから放射する音情報の内容について、受聴者に効率的に情報を伝達できるよう研究が行われている [8]。

先行研究において、聴取点での音情報重複を軽減するため、各スピーカが自律的に放射タイミング及び放射音圧レベル制御を行うインテリジェント拡声システムの研究、開発を行っている [9]。提案されているインテリジェント拡声システムを図 1 に示す。

本稿では、コンピュータシミュレーション上で、実際の防災無線システムのスピーカの設計事例に基づいてスピーカを配置し、先行研究で提案されたスピーカ間の距離と放射音の時間長を考慮した放射タイミング制御アルゴリズムを適用することで、SN 比の改善ができるか検証を行う。

2. 放射タイミング制御アルゴリズム

インテリジェント拡声システムにおける、各スピーカの音の放射タイミングを制御するアルゴリズムについて述べる。放射タイミングアルゴリズムのブロック図を図 2 に示す。

本システムは拡声装置へ音情報を送り出し、情報を管理する親局と、拡声装置である複数の子局から構成される。親局は子局の位置情報やその他の情報をデータベースとして保持し、各子局に音を放射するトリガーをかけ、音情報を送信する。各子局はそれぞれネットワークデバイスとスピーカ、放射タイミング制御装置、FIFO バッファ、GPS から構成され、親局からトリガーを受けると同時に音情報を取得し、図 2 に示すような流れで音を放射する。

まず、XYZ 軸の 3 次元空間で区域内にスピーカが N 本存在し、各スピーカを $S_1, S_2, \dots, S_{N-1}, S_N$ とする。各スピーカの座標は実際には GPS を用いて得ることを想定しており、実際には、その位置情報には誤差が含まれるが、ここでは、それを考慮せずに幾何学的な配置で検討を行う。 $S_1, S_2, \dots, S_{N-1}, S_N$ の座標をそれぞれ、 $S_1(x, y, z), S_2(x, y, z), \dots, S_{N-1}(x, y, z), S_N(x, y, z)$ とし、放射時刻をそれぞれ、 $T_{trig1}, T_{trig2}, \dots, T_{trigN-1}, T_{trigN}$ 、放射時間長を $u_1, u_2, \dots, u_{N-1}, u_N$ とする。また、音速を c とする。

放射タイミング制御の手法をあるスピーカ S_1 に注目して以下に述べる。

ある聴取点 $L_n(x, y, z)$ と各スピーカ S_n との距離をそれぞれ、 r_n とすると、その関係は次の式で表される。

$$r_n = \sqrt{(|x_n - x|)^2 + (|y_n - y|)^2 + (|z_n - z|)^2} \quad (1)$$

ここで n は $1 \leq n \leq N$ を満たす整数である。

その聴取点 $L_n(x, y, z)$ にスピーカ S_1 から放射した音が到着した時刻 t_{s1} は次の式で与えられる。

$$t_{s1} = T_{trig1} + \frac{r_1}{c} \quad (2)$$

また、座標 (x, y, z) においてスピーカ S_1 から放射した音が通過し終える時刻 t_{e1} は次の式で与えられる。

$$t_{e1} = T_{trig1} + \frac{r_1}{c} + u_1 \quad (3)$$

ここで、ある時刻 t でのスピーカ S_1, S_n が放射した音の振幅をそれぞれ、 $A_1(t), A_n(t)$ とすると、距離減衰を加味した、 S_1 から放射された音を信号、それ以外のスピーカ S_n から放射された音を雑音としたときの SN 比は次の式で表される。

$$\text{SNR}(t) = 20 \log_{10} \frac{A_1(t) r_n}{A_n(t) r_1} \quad (4)$$

本稿で用いる評価では、SN 比は時間長 T_{AVE} での平均値であるため、実際には、以下の式で表される。

$$\text{SNR}(t) = 20 \log_{10} \frac{\overline{A_1} r_n}{\overline{A_n} r_1} \quad (5)$$

次に放射タイミング制御アルゴリズムについて具体的に述べる。各スピーカ S_n は GPS から取得したそれぞれの座標 $S_n(x, y, z)$ をネットワークを介して定期的に更新し、

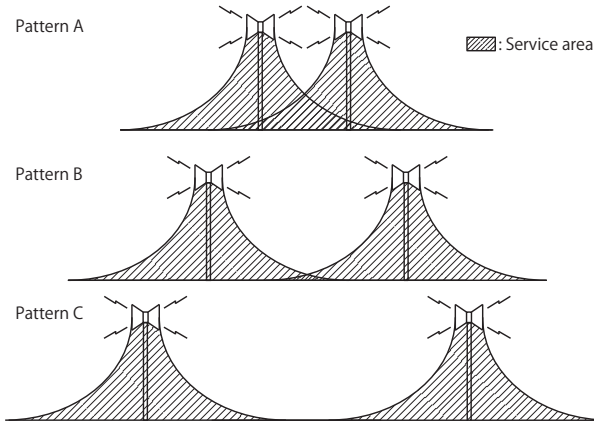


図 3 Categorization based on overlapping of service area.

スピーカ S_1 はサービスエリアが重複する他のスピーカ S_n と、スピーカが故障した際に適用制御が可能となるように、サービスエリアは重複しないが、サービスエリアが重複するスピーカ S_n のサービスエリアに重複するスピーカ S'_n までを自身が考慮すべきスピーカとする。その際、スピーカ S_1 とスピーカ S_1 とサービスエリアが重複する他のスピーカ S_n との距離 $d_{1,n}$ を算出する。音を放射するとき、スピーカ S_1 は放射する音に応じて、放射音の時間長 u_1 を決める。音を放射するとき、各スピーカは他のスピーカに対してネットワークを通じて放射タイミング T_{trign} と放射音の時間長 u_n を送信する。スピーカ S_1 は他のスピーカから送信された情報のうち、サービスエリアが重複する他のスピーカ S_n からの放射タイミング T_{trign} と時間長 u_n を取得する。スピーカ S_1 は自局から放射する音の時間長 u_1 と他のスピーカ S_n の放射タイミング T_{trign} および放射時間長 u_n から自局の放射タイミング T_{trig1} を決める。放射タイミング T_{trig1} の導出手法について、以下に詳しく述べる。

放射タイミングは聴取点において予測される、隣接する 2 装置の放射音の音圧レベル比に応じた制御を行う。放射タイミング T_{trig1} の導出において、スピーカ S_1 とその他のスピーカ間の距離 $d_{1,n}$ に応じて次の 3 つのパターンを考える。ここで、スピーカ S_1 との距離が十分近いスピーカを S_2 とし、スピーカ S_1 との距離がある程度離れているが、サービスエリアが重複しているスピーカを S_3 、スピーカ S_1 と十分に距離が離れているスピーカを S_4 とする。また、各パターンを図 3 に示す。

A. スピーカ間の距離が十分に近い場合、両スピーカから放射された音の大部分がほとんど減衰しないまま重畳する。そのため、スピーカ S_2 が放射した音が自らの設置位置を通過するまで、スピーカ S_1 は放射を行わない。よってスピーカ S_1 の放射タイミング T_{trig1} がとりうる範囲は次の式で表される。

$$T_{trig2} + u_2 + \frac{r_2 - r_1}{c} < T_{trig1} \quad (6)$$

B. スピーカ間の距離がある程度離れている場合、放射タイミングをずらすことで、スピーカ S_1 のスピーカ S_2 に対する放射音の音圧レベル比を改善できることが見込まれる。ゆえにスピーカ S_1 は、取得しているスピーカ S_3 との距離 $d_{1,3}$ 、放射タイミング T_{trig3} 及び放射音の時間長 u_3 から、聴取点において、音が重複しても音響情報を受聴者が理解できる SN 比以上になるように自らの放射タイミング T_{trig1} を決める。そのときの SN 比を SNR_o とする。よってスピーカ S_1 の放射タイミング T_{trig1} がとりうる範囲は次の式で表される。

$$\begin{aligned} T_c &= \{t | SNR(t) \geq SNR_o\} \\ T_{trig1} &= T_c - \frac{r_1}{c} \end{aligned} \quad (7)$$

C. スピーカ間の距離が十分に離れている場合、スピーカ S_1 のサービスエリア内において、スピーカ S_4 の放射音は十分に小さい。そのため、スピーカ S_1 はスピーカ S_4 を考慮せず放射を行う。

上記のパターン分けをスピーカ S_1 が考慮すべきすべてのスピーカについて考え、スピーカ S_1 の放射タイミング T_{trig1} を決める。他のスピーカによって決まる放射タイミング T_{trig1} のとりうる範囲の集合をそれぞれ、 $G_2, G_3, G_4, \dots, G_N$ とすると、スピーカ S_1 の放射タイミング T_{trig1} は次の式で表される。

$$T_{trig1} = \left\{ t \left| \begin{array}{l} t \in G_2 \\ t \in G_3 \\ \vdots \\ t \in G_N \end{array} \right. \right\} \quad (8)$$

3. シミュレーション

実際の設計事例に基づいたスピーカの配置で、先行研究で提案された放射タイミング制御アルゴリズムを適用することで、SN 比の改善の可能性を検証するためにシミュレーションを行った。

3.1 シミュレーション条件

シミュレーションは風の影響やスピーカから放射した音以外の環境雑音がなく、音の反射がない理想的な自由音場を想定している。各スピーカから放射する音の音圧レベルは 100 dB とした。気温は 20 °C、音速は 344 m/s とする。それぞれのスピーカから放射する音は男声を用い、サンプリング周波数は 16 kHz、分解能は 16 bit とした。各スピーカ S_1 から放射する音は「大津波警報が発表されました」と発話した音声を用いた。また放射する音声の時間長は 3.45 s である。

シミュレーションは、X 軸方向 8 km、Y 軸方向 6 km

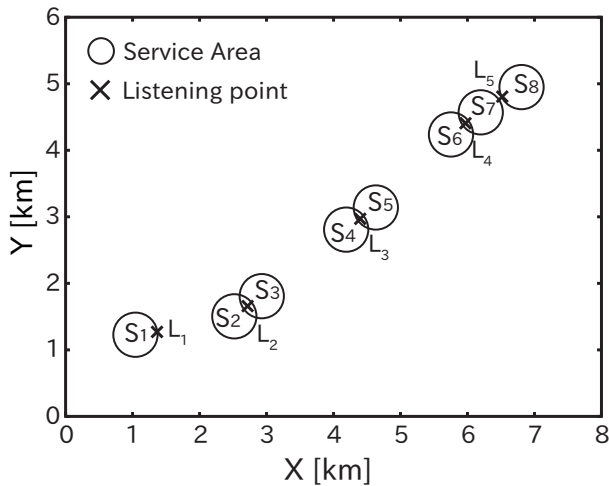


図 4 Loudspeaker の配置。

の範囲で行った。SN 比は 5 m 間隔で算出した。スピーカは実際の防災無線システムのスピーカの設計事例を基にして配置した。スピーカの数 8 局とした。また、各スピーカのサービスエリアは 300 m に設定した。また、5 箇所の聴取点で制御前と制御後の SN 比を検証した。聴取点での SN 比が 30 dB 以上となるように制御を行った。各スピーカの配置とサービスエリア、聴取点を図 4 に示す。各スピーカの高さは 10 m とし、聴取点の高さは 1.5 m とした。聴取点での SN 比の検証は 40 dB の暗騒音がある場合とない場合で比較を行った。放射時の音圧レベルは可聴域での聴取可能レベルを考慮して 100 dB とした。また、SN 比は 1 モーラの時間長を考慮して、0.2 s 間隔の平均値から算出した。

タイミング制御アルゴリズムによる SN 比の改善の検証は下記の式で表される評価式で行う。ここで、 N はスピーカの本数、 s は聴取点に最も近い距離のスピーカ、 $P_n(x, y, z)$ は聴取点 $L_n(x, y, z)$ でのスピーカから放射された音の音圧、 l は各スピーカのサービスエリア内の聴取点の個数を示している。

$$EVL_n = \sum_{x,y,z} \frac{\frac{P_s(x,y,z)}{\sum_{k=1}^N P_k(x,y,z)}}{l} \quad (k \neq s) \quad (9)$$

3.2 シミュレーション結果

放射タイミング制御アルゴリズムを用いて、各スピーカの最適な放射タイミングを求め、各スピーカのサービスエリア内の受聴点における、放射された音が鳴り始めてから鳴り終わるまでの SN 比および式 (9) で述べた評価式による評価値 EVL を算出した。評価値 EVL は正規化を行っている。図 5 に各スピーカのサービスエリアの受聴点における一斉放射を行った場合と放射タイミング制御を行った場合の評価値 EVL を示す。横軸が各スピーカを表しており、縦軸が評価値 EVL である。スピーカ S_1 の制御前、制御後

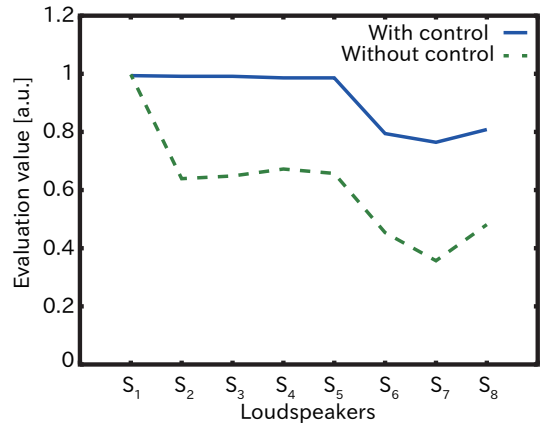


図 5 Loudspeaker のサービスエリアの聴取点の評価値。

の結果をみると、どちらも評価値が最大値の 1 となっている。これは、スピーカ S_1 の周囲に隣接したスピーカなく、妨害する隣接スピーカからの放射音がないためである。また、スピーカ S_2 と S_3 および S_4 と S_5 をみると、互いに隣接するスピーカは 1 基のみでそれぞれの放射音が影響するため、制御前の値はほぼ同じであり、制御によって評価値が改善されていることがわかる。スピーカ S_6 , S_7 , S_8 に着目すると、隣接するスピーカが 2 基となる S_7 の評価値が最も低く、全体でみても最も低い値となっていることがわかる。次に、聴取点 L_1 から L_5 までの各聴取点における最も距離が近いスピーカからの放射音が鳴っている間での SN 比の最小値を図 6 に示す。図 6 より、隣接するスピーカがない S_1 に近い L_1 では、隣接するスピーカの放射音が妨害しないため、SN 比が最大値になっていることがわかる。その他の聴取点では SN 比の最小値は聴取点によってほとんど違いがなく、暗騒音のあるなしに関わらず、制御によって大きく改善できていることがわかる。よって、放射タイミング制御を行うことにより、一斉放射を行うより、各スピーカのサービスエリア内の受聴点における SN 比が改善されていることがわかる。また、それは隣接するスピーカの数が多い場合や、隣接するスピーカ間の距離が近い場合に顕著に現れることがわかる。

4. まとめ

本稿では、実際の防災無線システムのスピーカの設計事例を用いて、先行研究で提案された局間距離と放射音時間長を考慮した放射タイミングアルゴリズムを適用することで SN 比が改善できるか検証を行った。シミュレーションの結果、実際の防災無線システムのスピーカの設計事例に基づいたスピーカの配置においても、反射音や風などの環境による影響がない理想的な自由音場では、各スピーカのサービスエリア内の受聴点での SN 比を改善することができ、可能性が示唆された。

今後の課題として、SN 比をさらに改善するために、各

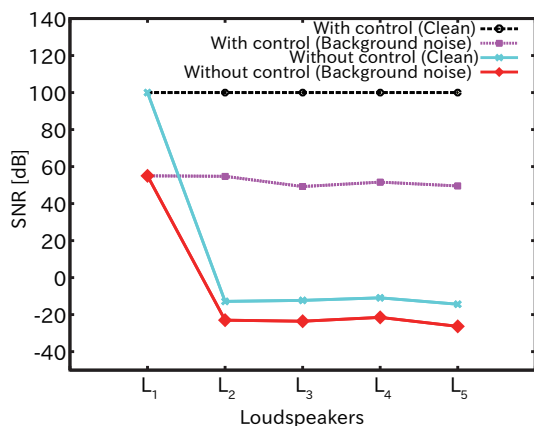


図 6 SNR at each listening point.

スピーカ毎の放射音の音圧レベル制御についても検討しなければならない。さらに、建物や地形などによる反射音や風、温度変化による音響伝搬特性の変化を考慮する必要がある。

5. 謝辞

本研究の一部は、総務省 SCOPE「防災・減災情報を効果的に伝送するメッシュネットワーク型インテリジェント拡声システムの研究開発」(132310012)の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] 森 淳一, 吉野 大輔, 佐藤 史明: 屋外音場におけるインパルス応答の測定 - 幾何音響シミュレーションとの比較検討 -, 日本音響学会 2011 年春季研究発表会講演論文集, pp.1263-1264, (2011.3).
- [2] 大久保 朝直: グリーン関数 PE 法を用いた屋外騒音伝搬予測, 36(3), 騒音制御 (2012).
- [3] 佐藤 逸人, 森本 正乃, 坂本 修一, 鈴木 陽一: ロングパスエコーが防災無線の明瞭度に及ぼす影響 - 屋外における文章了解度試験による検討 -, 日本音響学会 2013 年春季研究発表会講演論文集, pp.949-952 (2013.3).
- [4] 齋藤 文孝, 崔 正烈, 佐藤 逸人, 森本 政之, 菖木 禎史, 宇佐川 毅, 岩谷 幸雄, 坂本 修一, 鈴木 陽一, 青木 雅彦, 高島 和博: 屋外における災害情報伝達拡声系の高度化プロジェクト, 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会講演論文集, 3-P-1 (2012.10).
- [5] 森 淳一, 吉野 大輔, 佐藤 史明, 橘 秀樹: 広域放送システムのロングパスエコーの問題について, 日本音響学会 2012 年春季研究発表会講演論文集, pp.1217-1217 (2012.3).
- [6] 宇佐川 毅, 阿蘇品 萌, 菖木 禎史, 崔 正烈, 鈴木 陽一: スピーカアレイを用いた屋外環境における指向性制御の試み, 日本音響学会 2013 年春季研究発表会講演論文集, pp.943-946 (2013.3).
- [7] 程島 奈緒, 荒井 隆行, 栗栖 清浩: 発話訓練・スタイル・速度が残響下で若年者の音声知覚に与える影響, 日本音響学会 2008 年春季研究発表会講演論文集, pp.593-594 (2008.3).
- [8] 崔 正烈, 増見 洋治, 岩谷 幸雄, 坂本 修一, 齋藤 文孝, 鈴木 陽一: 長距離伝搬サイン音の聴感評価と因子分析による印象評価, 信学技報, pp.27-32 (2013.7).
- [9] 菖木 禎史, 北須賀 輝明, 坂本 修一, 山田 文彦, 崔 正烈, 村上 弾: 防災・減災情報を効果的に伝送するイン

テリジェント拡声システムに関する検討, 日本音響学会 2014 年春季研究発表会講演論文集, 3-10-2 (2014.3)(to be appeared).