

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒音
評価システム
数値解析例
おわりに

VR 技術を用いた対話型道路交通騒音評価 システムの構築

著:田近伸二 横山和夫 志村正幸

瀧田 孔明

富山県立大学 電子情報工学科

November 30, 2020

はじめに

2/21

背景

道路交通騒音は心理的不快感や睡眠障害などの悪影響を人体に及ぼす可能性があるため、道路や遮音壁の設計を行う際にその影響について検討する必要がある。

目的

従来のシミュレーションでは、得られた音圧レベルはCGを用いて可視化されるのが一般的で、騒音の影響範囲の把握を容易にするという長所があるが、実際に人間が耳にする聴覚情報の提示が行われないため、騒音の大きさを直感的に理解・把握することは困難であるので、聴覚情報を再現することが目的となる。

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

研究の方法と使用装置

3/21

方法と使用装置

騒音予測手法：ASJ RTN-Model 2008

使用装置：没入型 VR 装置

システムの構築：C 言語

可視化：OpenGL, CAVE ライブライ

可聴化：MAX/MSP

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

没入型 VR 装置

4/21

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに



図 1: 没入型 VR 装置

周辺デバイスについて

5/21

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

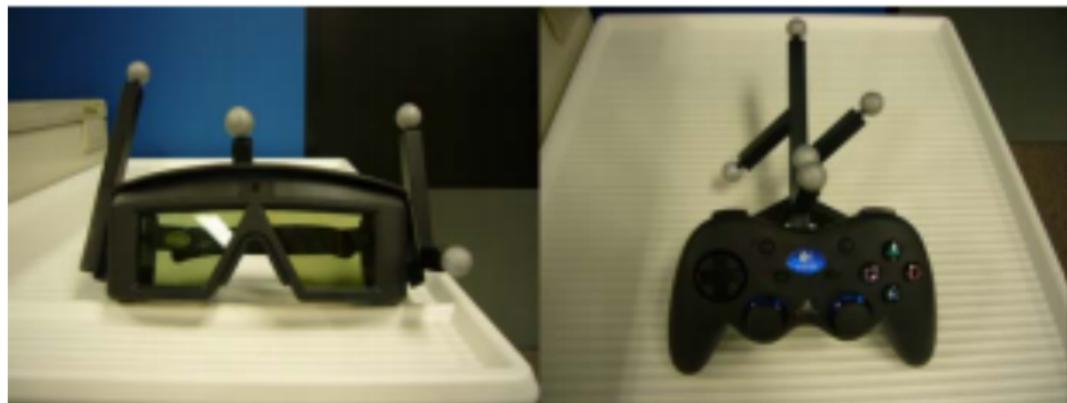


図 2: 周辺デバイス

システムの概要

6/21

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム
数値解析例
おわりに

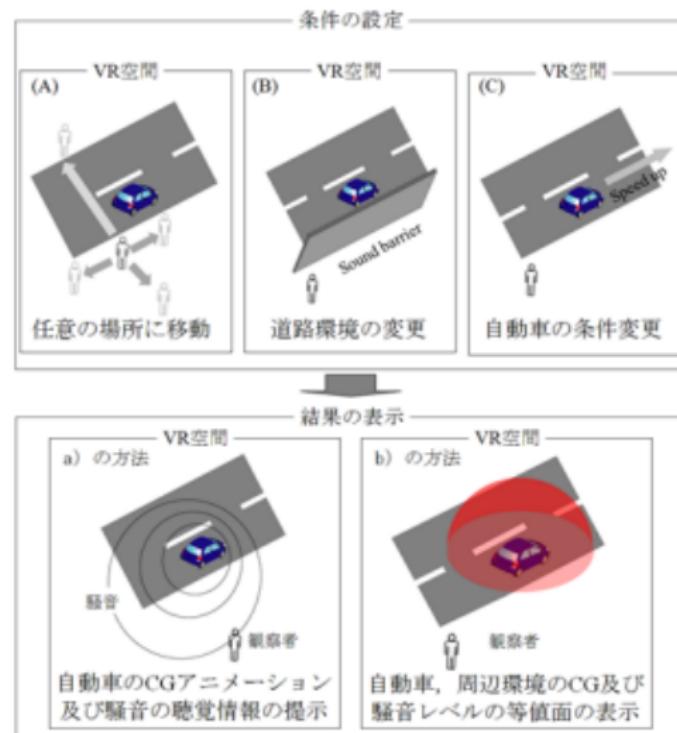


図 3: 本システムの機能の概要

特徴と予測結果

7/21

特徴

- ① 観察者は VR 空間内の任意の場所に移動可能である。
- ② VR 空間内で観察者は遮音壁の高さ、道路の塗装の種類などの道路の周辺環境を変更可能である。
- ③ VR 空間内で観察者は自動車の種類、自動車の速度などの自動車の走行条件を変更可能である。

予測結果を提示する方法

- a) 受音点を固定(指定)して、移動する自動車の CG 映像と共に音圧レベルを音として可聴化する方法
- b) 時間を固定(指定)して、音圧レベルの空間分布を可視化する方法

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

本システムのフローチャート

8/21

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム
数値解析例
おわりに

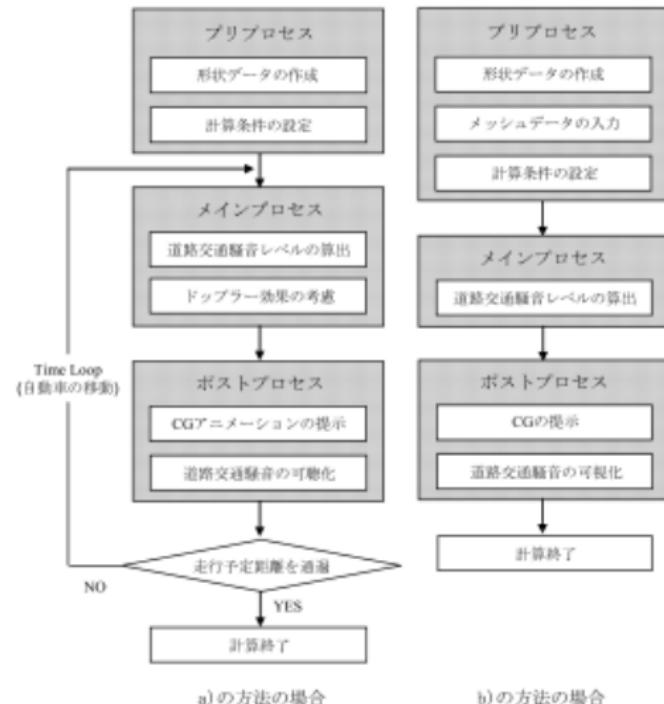


図 4: 本システムの機能の概要

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム
数値解析例
おわりに

(1) 形状データの作成

道路周辺に建設する遮音壁、高架橋及び自動車の形状データを作成する。

(2) メッシュデータの入力

本システムでは騒音レベルの等值面の三次元表示を行うため、これらを求めるために道路周辺に生成したメッシュデータの入力を行う。

(3) 計算条件の設定

道路交通騒音レベルの算出を行う際に必要な入力データは、自動車及び受音点の位置情報、自動車の走行条件、道路の周辺環境である。

(1) 道路交通騒音レベルの算出

step.1 音響パワーレベルの算出

自動車走行騒音の音響パワーレベルは次式で与えられる.

$$L_{WA} = a + b \log_{10} V + C \quad (1)$$

基準値に対する補正は次式で与えられる.

$$C = \Delta L_{surf} + \Delta L_{grad} + \Delta L_{dir} + \Delta L_{etc} \quad (2)$$

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

(1) 道路交通騒音レベルの算出

step.2-1 平面道路部での伝搬計算

平面道路部では、直接音と反射音を考慮し騒音レベルは次式により求めることができる。

$$L_A = 10\log_{10}(10^{\frac{L_A^d}{10}} + 10^{\frac{L_A^r}{10}}) \quad (3)$$

ここで、下記の2式はそれぞれ直接音と反射音のA特性音圧レベルを示し、次式によって与えられる。

$$L_A^d = L_{WA} - 8 - 20\log_{10}r_0 + \Delta L_{cor} \quad (4)$$

$$L_A^r = L_{WA} - 8 - 20\log_{10}r_1 + \Delta L_{cor} + \Delta L_{refl} + \Delta L_{abs} \quad (5)$$

音源から受音点に至る音の伝搬に影響を与える各種の減衰に関する補正量は次式で与えられる。

$$\Delta L_{cor} = \Delta L_{dif} + \Delta L_{grnd} + \Delta L_{air} \quad (6)$$

平面道路部の伝搬経路と鏡像音源位置

12/21

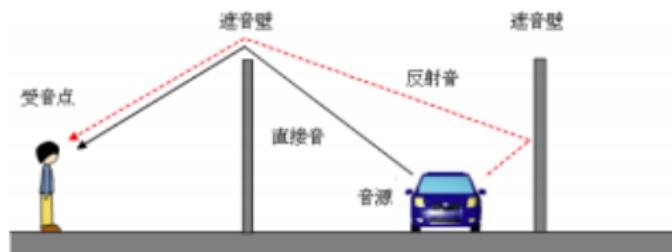


図 5: 平面道路部における伝搬経路

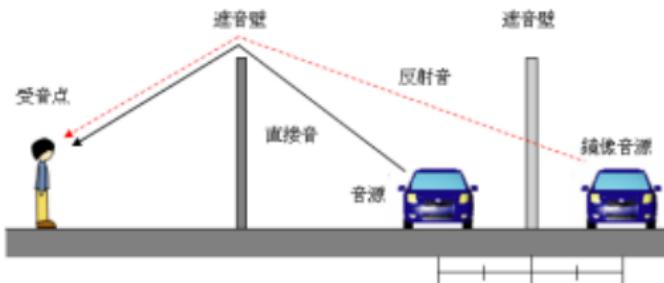


図 6: 平面道路部における鏡像音源位置

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

(1) 道路交通騒音レベルの算出

step.2-2 高架・平面道路併設部での伝搬計算

高架・平面道路併設部では、騒音レベルは次式により求めることができる。

$$L_A = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{A,0}}{10}} + 10^{\frac{L_{A,1}}{10}} + 10^{\frac{L_{A,2}}{10}} + 10^{\frac{L_{A,3}}{10}} \right) \quad (7)$$

高架裏面反射音、および裏面地面反射音は次式で与えられる。

$$L_{A,i} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{dif,sb,i} + \Delta L_{refl,slit,i} + \Delta L_{abs} \quad (8)$$

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

高架・平面道路部の伝搬経路

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム
数値解析例
おわりに

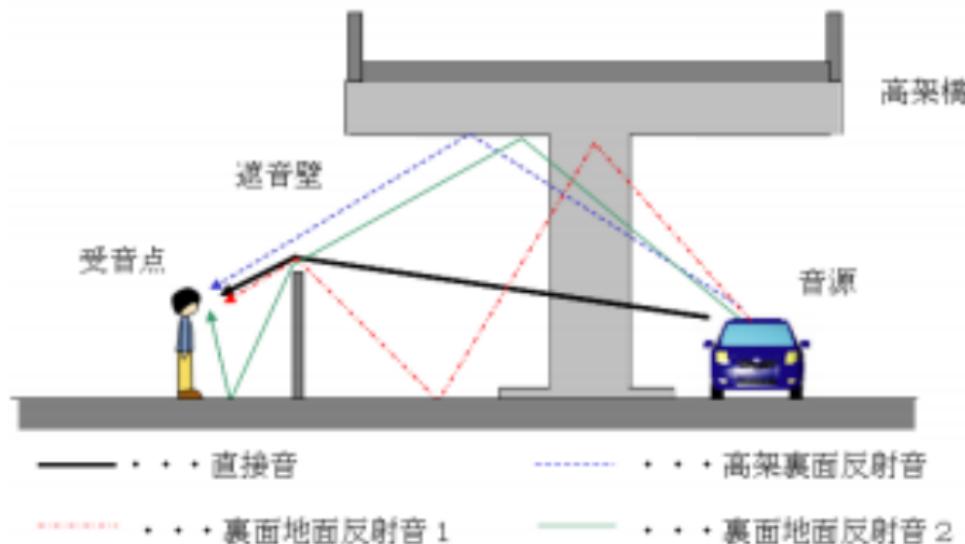


図 7: 高架・平面道路部における伝搬経路

高架・平面道路部の鏡像音源位置

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム
数値解析例
おわりに

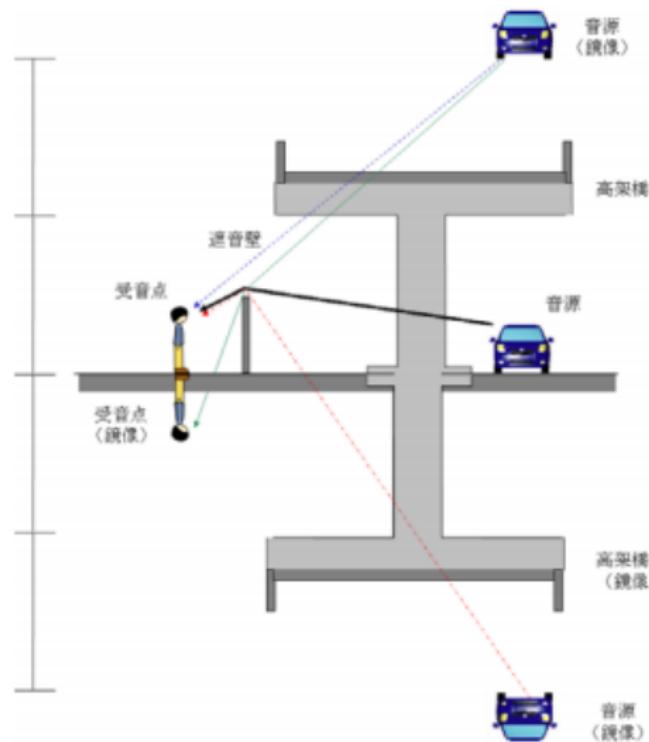


図 8: 高架・平面道路部における鏡像音源位置

ドップラー効果

(2) ドップラー効果の考慮

ドップラー効果による周波数の変化は以下のように示すことができる。

$$f' = f \left(\frac{U}{U - u_s \cos\theta_s} \right) \quad (9)$$

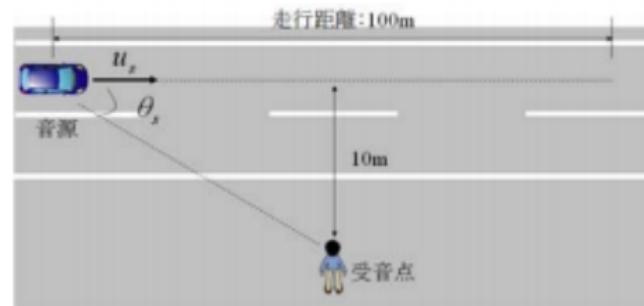


図 9: 計算モデル (平面図)

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

(1) CG の提示

自動車及び道路周辺の CG 映像を VR 空間内に提示する。なお提示する CG 映像は、入力した計算条件に応じて対話的に変化する。

(2) 道路交通騒音レベルの可聴化

本システムでは、a) の方法を選択した場合であり、予測結果の可聴化には MAX/MSP を用いて行っている。MAX/MSP に入力するデータは、受音点における道路交通騒音の A 特性音圧レベル、ドップラー効果による周波数の変化、そして道路交通騒音を別途録音した wave データである。

(3) 道路交通騒音レベルの可視化

本システムでは、b) の方法を選択した場合であり、騒音の影響範囲を容易に把握できるようにするために、OpenGL を用いて騒音レベルの等値面を描画している。

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

騒音レベルの比較

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム
数値解析例
おわりに

道路環境	ユニットパターン 最大値[dB]
ケース 1) 平面道路部：遮音壁0m	71.3
ケース 2) 平面道路部：遮音壁3m（片側）	54.2
ケース 3) 平面道路部：遮音壁3m（両側）	54.7
ケース 4) 高架・平面道路併設部：遮音壁0m	71.4
ケース 5) 高架・平面道路併設部：遮音壁3m	57.6

図 10: 5 つのケース例

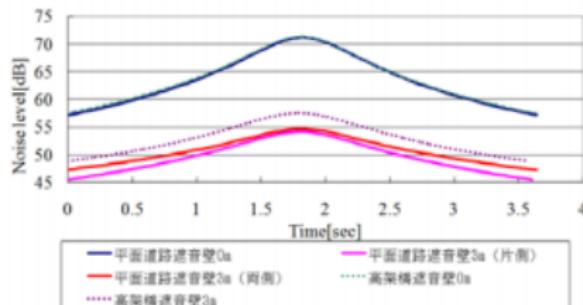


図 11: 各ユニットパターンの比較

a) と b) のそれぞれの計算時間

19/21

はじめに
開発環境
VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム
数値解析例

おわりに

道路環境	計算時間 (1ステップあたり) [sec]
ケース 1) 平面道路部：遮音壁0m	0.041
ケース 2) 平面道路部：遮音壁3m（片側）	0.043
ケース 3) 平面道路部：遮音壁3m（両側）	0.047
ケース 4) 高架・平面道路併設部：遮音壁0m	0.060
ケース 5) 高架・平面道路併設部：遮音壁3m	0.074

図 12: a) の方法の場合の計算時間

道路環境	計算時間 : [sec]
ケース 1) 平面道路部：遮音壁0m	0.604
ケース 2) 平面道路部：遮音壁3m（片側）	0.830
ケース 3) 平面道路部：遮音壁3m（両側）	1.103
ケース 4) 高架・平面道路併設部：遮音壁0m	1.170
ケース 5) 高架・平面道路併設部：遮音壁3m	1.329

図 13: b) の方法の場合の計算時間

聴覚情報のキャリブレーションと空間分布

20/21

理由

観察者が正確な道路交通騒音を体感するためには、VR空間内で出力される聴覚情報と計算によって求められた騒音レベルの数値を一致させる必要があるため。

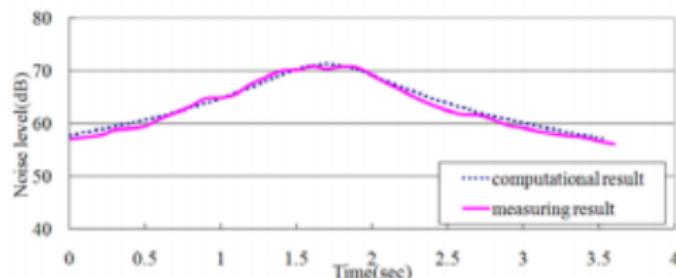


図 14: キャリブレーション後のユニットパターン (ケース 1)

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに

まとめ

- ① 道路交通騒音レベルの予測結果を、ほぼリアルタイムで CG による視覚情報と音による聴覚情報により提示することが可能になった。
- ② 道路交通騒音の評価・検討を対話的に行うことが可能である。
- ③ キャリブレーションを実施することにより、観測点(キャリブレーション位置)において予測結果どおりの道路交通騒音を提示することが可能になった。
- ④ 今後は複雑な道路環境に適用可能にすること、実測結果との比較により精度検証を定期的に行い、立体音響場の構築が今後の課題である。

はじめに

開発環境

VR 技術を用いた
対話型道路交通騒
音評価システム

数値解析例

おわりに