

3次元測域センサを用いた視覚障害者の 屋外誘導に関する研究

○遠藤 陽平 (筑波大学), 河 潤秀 (韓国海洋大学), 大矢 晃久 (筑波大学), 坪内 孝司 (筑波大学)

Outdoor Guidance for Visually Impaired Person Using 3D LIDAR

○Yohei ENDO (University of Tsukuba), Yunsu HA (Korea Maritime University),
Akihisa OHYA (University of Tsukuba), and Takashi TSUBOUCHI (University of Tsukuba)

Abstract: We have proposed a guidance system for visually impaired persons using a 3D LIDAR. The system enables the person to walk alone even in the place visited for the first time. In this paper, we show some experimental results of map building and guidance in outdoor environment.

1. 緒言

弱視や目が見えないなどの視覚障害者は、晴眼者に比べて様々な行動が制限されてしまう。特に視覚障害者にとって未知の環境では行動が消極的になってしまふ。例えば、健常者にとって初めて行く場所であっても、地図などを利用して目的地に辿り着くことはそこまで難しくないが、視覚障害者がそれを自分ひとりで行うことは非常に困難である。

このような問題に対して、多くの視覚障害者は盲導犬や白杖、外出支援サービスなどを利用することで対策をとっている。しかし盲導犬は視覚障害者の歩行補助としては優れているが日本には約 1000 頭しかおらず、全国の視覚障害者数が約 31 万人いる中で、盲導犬を希望している方は約 3000 人いるため、盲導犬の数が足りていないことが課題である。また盲導犬を育成するのに約 1 年弱必要であり、育成コストとしては 1 匹当たり約 500 万円かかる [1] [2] [3]。また、白杖は杖の先で自分の周りに障害物があるかないかを知ることは出来るが誘導機能は持たないため、初めて行く場所に一人でたどり着くことは難しい。また、外出支援サービスを利用することによって、初めて行く場所でもガイドヘルパーの方に一緒に歩いてもらい、安全にその場所まで行くことは出来るが、ガイドヘルパーの方にいつでも付き添って歩いてもらえる訳ではなく、事前に予約をする必要があるなどの時間的な制約があることが課題である。

そこで、視覚障害者が初めて行く場所でも一人で安全に行くことが出来るように、屋内外で歩行補助と目的地までの誘導を支援する案内システムに関する研究を行っている。本稿では、案内システムの概要、使用する 3次元測域センサ、そして現在の進捗を述べる。

2. 研究目的

本研究の先行研究 [4] では、3次元測域センサとベルト型振動デバイスを用いて視覚障害者の歩行補助と目的地までの誘導を目的とした研究を行なった。この研究は 3次元測域センサで階段や障害物を検知するとともに自己位置推定を行い、障害物を回避しつつ安全に目的地まで誘導するシステムを提案したものである。先行研究では、屋内の限定的な環境で安全に誘導が出来ることが確認されている。

そこで本研究では、先行研究で行われていたことに加え、屋外でも安全に目的地まで誘導出来るシステムを構築することを目的とする。屋外環境は屋内環境と比較して、自転車や自動車があるため環境変化が常に起こることや、ランドマークとなる壁や建物などが誘導したい経路の周辺に少ない場合があり得る。本研究では、屋外誘導が上手く行く所と上手く行かない所を調査し、上手く行かない所での対処方法を検討することで、屋外での使用範囲を拡げていくことを目標とする。また、より良いウェアラブル化を実現するために、先行研究で使われていたノート PC をマイコンに変更するなどしてより軽量の装備で誘導を実現することと、実際に作成する誘導システムを視覚障害者に使ってもらい、使いやすいかどうかなどのアンケートを取ることでシステムを評価することを目指す。

3. 関連研究

視覚障害者の歩行補助や目的地までの誘導を目的とした研究はこれまでに多くなされてきた。

鶴沼ら [5] は既存の点字ブロックに RFID (Radio Frequency Identification) を埋め込み、その ID 情報から位置を検知して現在位置を取得し、視覚障害者の

安全で円滑な移動を支援しようとする研究を行なった。RFIDを埋め込んだ点字ブロックのID情報と敷設した場所の位置や周辺情報を結びつけることにより、屋内外を問わず位置や情報を検知することができるシステムであり、経路案内や注意喚起等を提供できるシステムとなっている。しかしこのシステムでは、屋内でも屋外でも新たにインフラを整備する必要があるため、限定的な環境での実験にとどまっている。

石川ら [6] はGPS(Global Positioning System)を用いてシステム使用者の現在位置及び現在位置の周辺施設検索や設定した目的地までの誘導経路を探索し、その経路に沿ったガイダンス機能を搭載する支援システムの研究を行った。このシステムでは、新たにインフラを整備する必要はないが、施設内や地下街などのGPSが入らない場所で使用できないことや、市街地で頻発するマルチパス等に起因して、大きな位置推定誤差が発生してしまう課題がある。

本研究では、システム使用者に測域センサと正面・斜め左・左・斜め右・右の5方向の分解能があるベルト型振動デバイスを身に付けてもらう。予め作成した地図データと体に取り付けた3次元測域センサから得られるデータをマッチングさせることで、地図中の自己位置を推定しながら、予め指定した経路に沿って歩いてもらうことで誘導を実現する。

4. 3次元測域センサ

本研究では、3次元測域センサとして北陽電機社製のYVT-35LXを使用することとした。Fig. 1にYVT-35LXの外観を、Table. 1にYVT-35LXの仕様を示す。その他よく使用される3次元測域センサとして、Velodyne社製のVLP-16やVLP-32などがある。これらは測定可能距離が100m程度あり非常に高性能であるがその反面高価である。これに比べて今回使用するYVT-35LXは安価であり、またインタレースが1フィールドの時、1スキャンにかかる時間は50ms程度で自己位置を推定するには十分な速度で周辺環境を認識することが出来る。

また本研究では、このYVT-35LXをシステム使用者の腰に取り付けて誘導を行うため、安全に誘導を行うためには足元の情報が重要であると考えた。VLP-16やVLP-32の測定可能距離は非常に長く高性能であるが、垂直走査範囲は30度と狭い(Fig. 2)。VLP-16をシステム使用者の腰につけると、足元付近の状況が取得出来ない。この点もVLP-16ではなくYVT-35LXを選定した理由である。YVT-35LXの垂直方向に測距可能なのは上方35度、下方5度となっているため、そのまま腰に取り付けても腰より下の環境がほとんど取得出来ない。そのため、本研究ではYVT-35LXを上下逆さまにして腰

に取り付けるものとする。



Fig. 1 YVT-35LX appearance

Table. 1 YVT-35LX specification

項目	仕様
大きさ	W:70[mm] × D:106[mm] × H:95[mm]
重量	650[g]
水平走査角度	210[度]
垂直走査角度	40[度](上方:35[度]+ 下方:5[度])
1スキャンにかかる時間	50[msec](インタレース1の時)
検出距離(水平走査)	- 45[度] < θ < 45[度] 0.3m - 35m
	- 75[度] < θ < 45[度] 0.3m - 20m
	45[度] < θ < 75[度] 0.3m - 20m θ < - 75[度], 75[度] < θ 0.3m - 10m

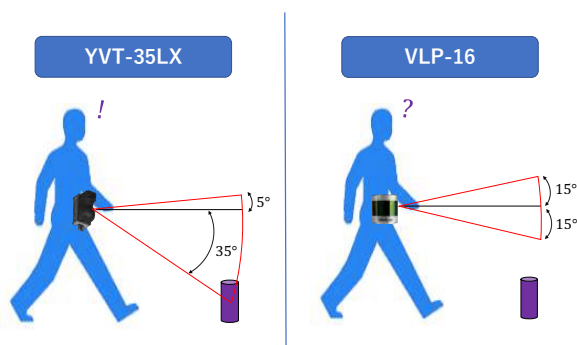


Fig. 2 Comparison of YVT-35LX and VLP-16

5. 提案手法

本研究で提案している手法のシステム構成図をFig. 3に示す。システム利用者には、ノートPCを持ち、3次元測域センサとベルト型振動デバイスを腰の位置に着けてもらう仕様となっている。この提案手法は、大きく分けて地図生成と誘導の部分からなる。

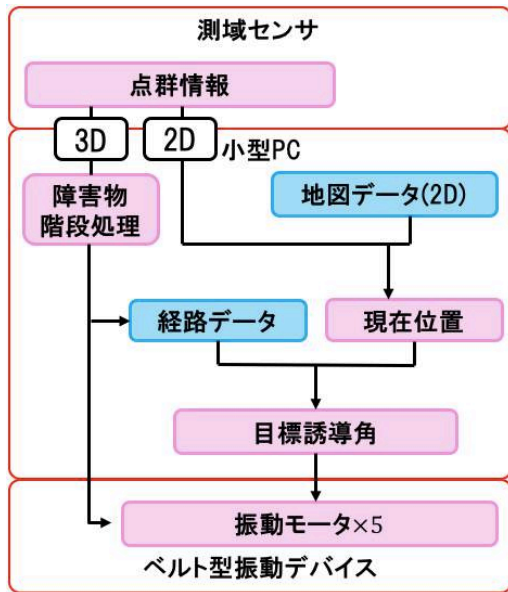


Fig. 3 Flow of Proposed System



Fig. 4 Wheeled Robot used for Map Building

5.1 地図生成

まず、Fig. 4 に示す車輪型ロボットを、誘導を行いたい環境で人が走行させることで地図を生成する。地図生成には山田らが作成した [7] gndlib [8] の opsm-position-tracker を用いる。このプログラムは 2 次元の地図を出力する。人の腰の高さと同じ位の高さに YVT-35LX を搭載した車輪型ロボットを、地図を生成したい環境で人手により走らせ、その環境の障害物や建物などの環境情報を 3 次元点群データとして取得する。次に、この取得してきた 3 次元点群データを順番に重ね合わせることで環境全体の地図データを作成する。3 次元点群を 2 次元に射影することで、2 次元地図を作成している。

5.2 誘導

誘導では、gndlib の scan-matching を用いて自己位置推定を行い、事前に設定していた経路と推定した自己位置からどの方向に進めばいいかをベルト型振動デバイス (Fig. 5 に外観を示す) を用いて指示することによって誘導を実現する。自己位置推定には MCL が実装されており、パーティクルの撒く範囲、パーティクルの数、自己位置の初期位置をパラメータとして設定しておく。パーティクルは自己位置の候補である。事前に作成した地図データとスキャンデータの一致度である尤度を見ることで、もっともらしい自己位置を推定する。ベルト型振動デバイスには 5 つの振動モータが付いている。被誘導者の腰につけたときには、ちょうど腰の前・左・右・左斜め前・右斜め前に振動モータが配置されるような設計になっており、振動したモータの方向に進んでもらうシステムである。



Fig. 5 Vibration Belt

6. 地図生成実験

屋外環境で地図生成が難しいところや上手くいくところがどのような環境であるか調査するとともに、作成された地図を用いて実際に誘導が出来るかどうか検証を行っている。

地図がうまく出来ないところの対応方法として、取得してくる点群データをそのまま地図生成に用いず、加工してから地図生成に用いる方法を検討した。草がたくさん生えている場所で地図生成を行うと、草の箇所だけレーザー光が多く反射し、非常に多くのデータが取れ、地図が正しく出来ない事例があった。地図生成には gndlib の opsm-position-tracker を用いているが、これには SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) が実装されている。SLAM は環境形状の重ね合わせによる自己位置計測であり、取得される点群が極端に多いと地図の重ね合わせがずれていても正しいと評価されて、地図が曲がってしまうことがある。このような場合に対して、草のデータをなるべく少なくすることで対処出来る可能性がある。また草と同じ理由で、階段や椅子などの地面よりも高い所で地面に対して水平なデータが多く取得されるような場合と同じ現象が見られた。

このような環境でも正しい地図を作成するために、地面に対して水平な点群データを、地図生成を行う前の段階で除去をする必要があると考えた。Fig. 6のようにYVT-35LXで取得される、ある連続した点群データA、Bがあるとする。xy平面（地平面）に対する法線ベクトル \vec{n} と、ベクトルABのなす角を θ として、以下の式よりその θ を算出する。

$$\cos \theta = \frac{\overline{AB} \cdot \vec{n}}{|\overline{AB}| |\vec{n}|}$$

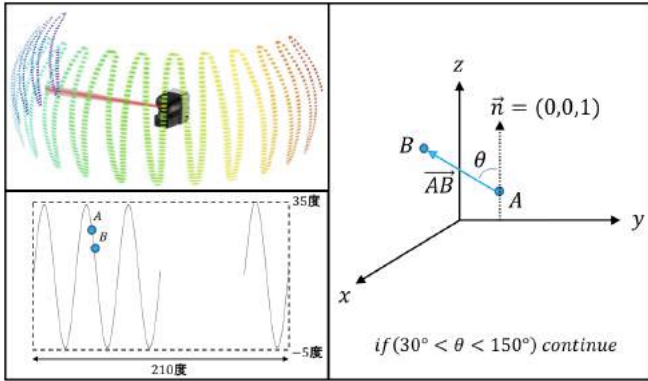


Fig. 6 Data of YVT-35LX and Processing Method

これにより求めた θ の値から、除去する点群の範囲を決め、点群データを間引いた。この点群処理法を適用した際に地図生成結果にどのような差が出るか調べるため、実験を行なった。以下に実験環境と従来の手法で地図生成を行った場合に出来上がる地図と、本手法を用いて地図生成を行った場合に出来上がる地図を載せる。Fig. 9に実験環境の写真を、Fig. 10に従来手法の地図生成によって出来た地図を、Fig. 11に新手法によって出来た地図を示す。



Fig. 7 Experiment Environment

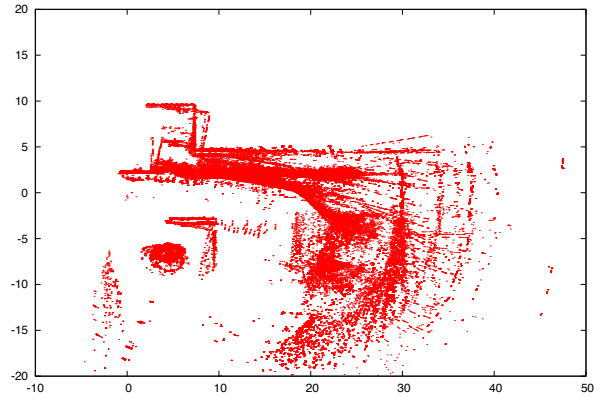


Fig. 8 Map made by Conventional Approach

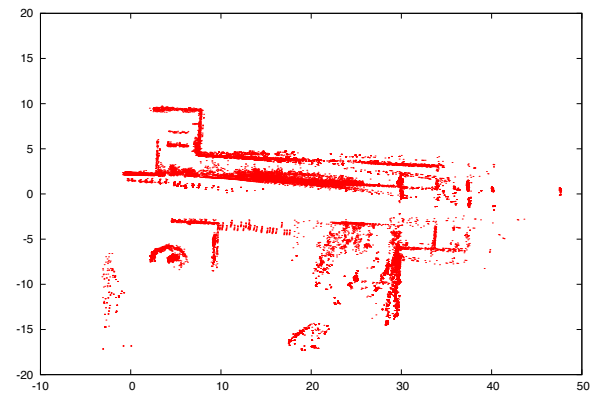


Fig. 9 Map made by New Approach

Fig. 8とFig. 9を比べると、Fig. 9では向きのずれたデータが重なっているのに対し、Fig. 11では点群の数が少なくなり、全体的にすっきりとした印象になっていることが確認出来る。

また、屋外環境ではYVT-35LXの測距距離範囲内に十分にランドマークなる建物や構造物がない場合がある。例えば、Fig. 10に示すような環境では周りにランドマークとなる物体が少なく地図が正しく出来ない場合があった。Fig. 11に作成された地図を示す。

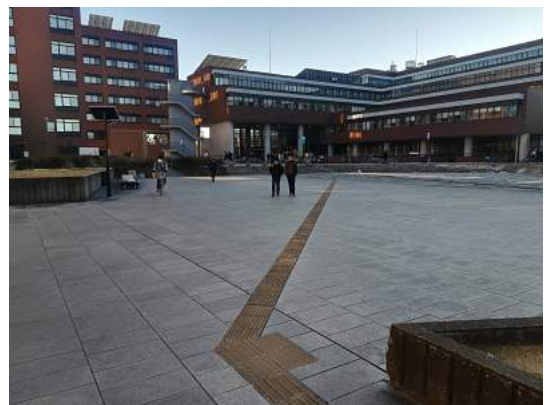


Fig. 10 Experiment Environment

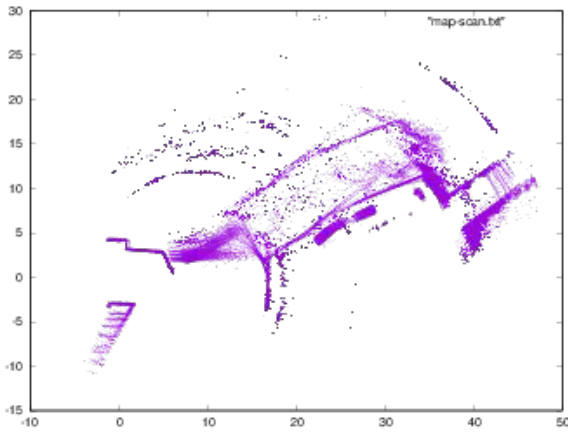


Fig. 11 Failed Map

Fig. 11 では、座標(10,0)あたりのところで曲がっていることが確認出来る．このように周辺環境に物体が少ない場合では、立て看板のようなものを新たに設置すれば、ランドマークが増えて、正しい地図を作ることが出来るのではないかと考えた．Fig. 12 に、失敗した時と同じ環境に立て看板を置いた写真を、Fig. 13 にその環境で作成された地図を示す．

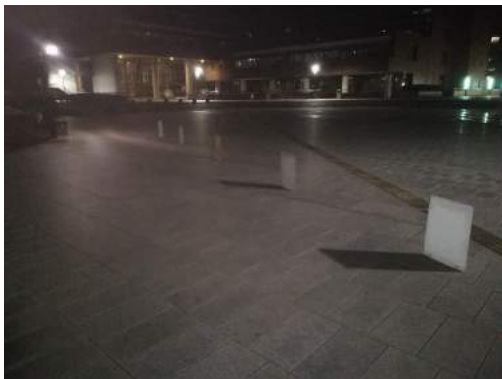


Fig. 12 New Landmark Added Environment

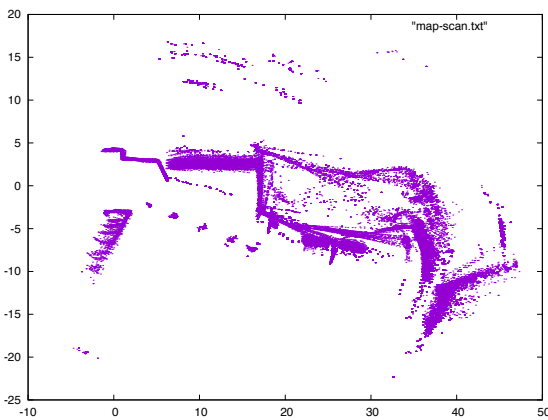


Fig. 13 New Landmark Added Map

Fig. 11 と、Fig. 13 を比較すると、Fig. 13 のほうが階段付近の箇所が綺麗になっている．また、立て看板も地図にきちんと反映されている．広場のような周りにランドマークが少ないような環境では、新たにランドマークとなるものを設置することで、綺麗な地図が出来上がることが確認出来た．

7. 誘導実験

Fig. 6 に示した、点群処理方法を誘導の時の点群取得時にも採用した．本稿で示した点群処理方法を用いた誘導と従来のままの手法でどのような違いが出るかを調べるため、また実際に誘導出来るのかどうかを確認するために実験を行った．実験環境は、上記の Fig. 7 で行った．Fig. 14 に従来の方法で誘導を行った時の様子を、Fig. 15 に本稿で示した点群除去方法を用いた場合の誘導の様子を載せる．

誘導が出来ているかどうかは、自己位置が算出されているかどうかで判定するものとする．Fig. 14、Fig. 15 の紫でプロットされている点が地図データであり、矢印が付いている黒点が自己位置をプロットしたものである．それ以外の黒点は YVT-35LX で取得された点群の中で、地図形状と一致していると判定した点群である．図中の赤いバツ印は進んで欲しい経路を示したものであり、システム利用者は振動ベルトの振動を頼りに、その経路に沿って歩く．

Fig. 14 では、取得される点群が多く、地図とのマッチングが上手くいかずに自己位置が求められていないが、Fig. 15 では、従来手法で自己位置が求められていなかった場所でも、自己位置が求められていることが確認出来た．

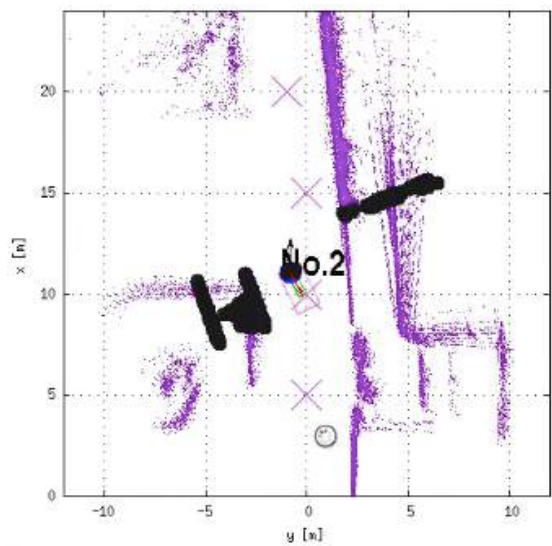


Fig. 14 Guidance by Conventional Approach

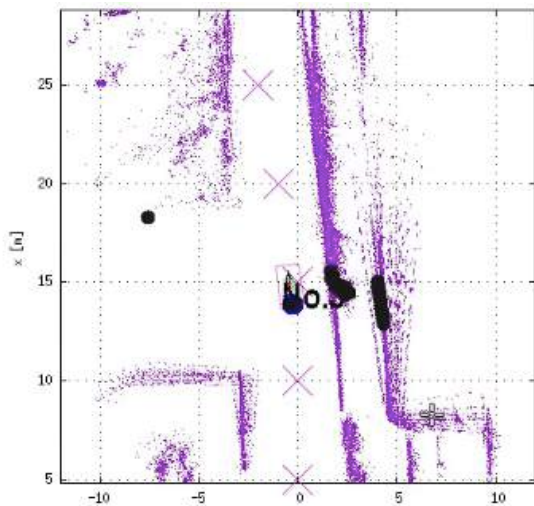


Fig. 15 Guidance by New Approach

8. 結言

視覚障害者が初めて行く場所でも安全に一人で行けるように歩行補助と案内を行うシステムを構築している。本稿では、屋外環境で地図生成と誘導を行うため、点群処理方法を変更して、それぞれで実験を行なった。

今後もより精度高く誘導を実現するために点群処理方法の改善を検討する。本稿で提案した点群処理方法を用いたことで、地面に対して水平なデータを除去することは出来たが、この手法のままでは YVT-35LX が取得出来る最大距離付近の点群は消えてしまうことがわかった。一方で、YVT-35LX が取得出来る最小距離付近の点群は依然多すぎる。そこで最大距離付近の点群は残し、最小距離付近の点群はより間引くことが出来るような処理に変更して、どのような違いが出るか実験する予定である。

また、一方で現在の誘導システムを実際に視覚障害者に試してもらえるように他大学の研究者とも協力し実験を進めていく方針である。

参考文献

- [1] 社会福祉法人兵庫盲導犬協会
<http://www.moudouken.org/about-guide-dog/qa/>
- [2] 全日本盲導犬使用者の会
<http://guidedog-jp.net/data2.htm>
- [3] 社会福祉法人日本盲人会連合
<http://nichimou.org/impaired-vision/>
- [4] 諏訪部 純, 大矢 晃久: ``3次元測域センサを用いた視覚障害者誘導システムの開発-階段を含めた誘導-``, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-J02(1-4). (2017. 5)
- [5] 鵜沼 宗利: ``ユビキタスコンピューティングとネットワーク社会の到来に向けて:4. RFID を用いた歩行者の経路誘

導 -視覚障害者向け道案内システム-``, 情報処理, Vol. 45, No. 9, pp. 918-922, 2004.

[6] 石川 准, 兵藤 安昭: ``GPS による視覚障害者歩行支援システムの開発``, 情報処理学会研究報告, pp. 51-56, 2005.

[7] 山田 大地, 大矢 晃久: ``生活環境における移動ロボットの自己位置推定のためのレーザスキャナの統計的計測モデル``, 計測自動制御学会論文集, pp. 661-670, 2016.

[8] github

<https://github.com/rty2357/gndlib>