

照明光通信によるユーザ誘導デバイスの研究

光藤雄一^{†1}

本稿では、照明光を利用した屋内でのユーザの誘導方式を提案する。一般にナビゲーションと言えば、GPSなどの位置測定システムを使用したものを指し、主に屋外で使用されている。屋内でも無線LANなどを使用した測位システムの研究が進められ、実用化されているシステムもあるが、ユーザの位置の算定の為に複雑な計算を行う必要がある。そこで本稿では、照明光による情報配信システムを利用してユーザにナビゲーション情報を提供し、屋内の希望の場所まで誘導するシステムを提案する。照明光を情報通信に使用する技術は既に提案されているので、ユーザを照明光によって提供される局所的な情報を元に建物内の任意の場所まで誘導する方法や、ユーザの方向を検知して適切な進路情報を与えるための受信器などを提案し、有向グラフおよび光学モデルを使用して誘導システムとしての動作を検証する。

A Study of Indoor Navigation using Visible Light Communication System

YUICHI MITSUDO^{†1}

In this paper, we introduce a techniques for indoor navigation system using optical communication system. GPS system is a popular positioning system for user's navigation, but difficult to use indoor user. However, we often face a scenes that require the assists of indoor navigation system in large terminal station, modern-style buildings, and large scale subway stations. We try to solve this problem by broadcasting navigation data with modulated illumination lights. In this paper, we introduce the methods to navigate a user in a building, and how to detect a user's direction by using modulated illumination lights.

1. はじめに

実世界のユーザへの情報支援システムとして、ナビゲーションシステムを挙げる事ができる。ナビゲーションシステムはユーザの座標を測定し、目的地へ自動的に誘導するなどの支援を行うシステムである。最も普及しているナビゲーションシステムの一つとして、GPSを利用したナビゲーションシステムが挙げられる。これらは主に屋外で使用されているが、屋内であってもナビゲーションの需要がなくなるわけではない。複雑な構造をした地下鉄構内や、駅、建造物などでは、むしろ地上よりもナビゲーションの必要があると考えられる。屋内や地下ではGPSを使用することは出来ないか、困難であることは広く知られている。屋内でユーザの位置を特定するために、無線LANやRFIDを用いる技術の研究は既に行われており^{1),2)}、AirLocationやEkahau^{*1}などのように実用化されている技術もある。

これらのシステムでは、構内に設置された無線LANやRFIDといったデバイスを利用してユーザの位置を測定し、ナビゲーションを行っている。これらの位置測定には、電波の強度や到達信号の時間差などを測定することで測位するなどの複雑な仕組みが必要であり、確率的な推測を必要とする手法も見られる。

これに対して本研究では、「看板」メタファを利用した誘導デバイスを作成した(図2)。

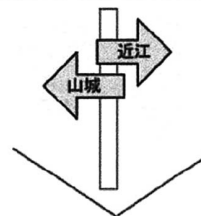


図2 看板メタファの例

主観的に考えて、我々が屋内を移動する際に、自らの座標を考慮して移動することは滅多にない。むしろ、目の前の交差点を曲がるかどうか、通路を進むか退くかという手続きを連続して行うことによって目的地に到達していると考えることが出来る。この考え方

^{†1} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
Future University Iikodate Department of Media Architecture

*1 <http://www.marubeni-sys.com/network/ekahau/>

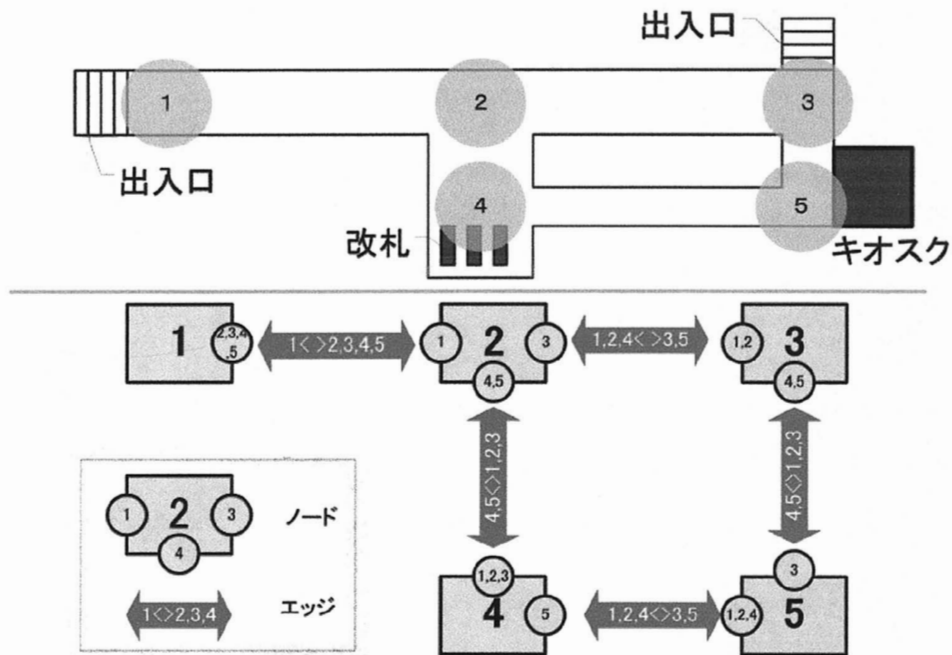


図1 ノードとエッジで示した地図

をユーザの誘導に当てはめると、各分岐路で、「〇〇に進みなければこの分岐路」という情報を与え続けられ、ユーザは最終的に目的地に辿りつくことが出来る。

このメタファをシステムとして運用するためには、各分岐路で、建物内の全ての目標について、どちらの分岐に進むかを提供する必要があります。この情報は膨大な量になる。そこで、本研究では、この情報をユーザに提供するために照明光通信に注目した。建造物内では照明は必要不可欠なものであり、分岐路にはほぼ必ず照明が据え付けられている。また、照明光を高速変調することで光信号の配信器として使用する技術は既に提案されており^{3),4)}、これらの送信器を電力線通信などを利用して制御する手法も提案されている。こうした技術は可視光通信とも呼ばれる。

また、「看板」メタファを構成するもう一つの重要な要素として、方向の指示がある。照明光通信ではデータの転送を行うことは可能であるが、実空間の方向を指示することは出来ない。また、屋内では、特に地下鉄構内では鉄道の運用に伴って強力な磁場が発生しており、磁北の検出が困難な状態にある。そこで本稿では光受信器を工夫し、分岐路の情報の受信と平行して、実空間の方向指示を行うことが可能なシステムを構築し、OptGuideと名付けた。

本稿では、看板メタファによるユーザ誘導の方式と、OptGuideによる実際の誘導の動作について、有向グラフと幾何光学モデルを使用して提案を行う。

2. 看板メタファによる誘導コンセプト

本稿で想定する「屋内」を、複数の通路とその交差点から構成される構造物であると考え、この構造物は、交差点をノード、通路をエッジと考えることで有向グラフに置き換えて考えることが可能である(図1)。

グラフ内の全てのエッジ・ノードにおいて、どちらのエッジ端、もしくは、どのエッジに進行すれば目的のノードに近寄ることが可能かを決定することは可能である。ユーザはグラフ内の何処にいても、この情報に従ってエッジ端およびエッジを選択することで、最終的に目的のノードに辿りつくことが可能である。

つまり、グラフ内の全てのノード、エッジが、自身を除くあらゆるノードに近寄るための情報を保持すれば、ユーザはこれを局所的に読み取ってゆくことで最終的に任意の目的地に辿りつくことが可能である。

このノード・エッジを持つ

- (1) ノードの場合：目的地に到達できるエッジ
- (2) エッジの場合：目的地に到達できるエッジ端の情報を、本稿では**目的地情報**と呼ぶ。

図1のように複数の経路を取ることが可能であるが、この際は最も適切である(距離が最も短い等)と考えられる1つを選択する^{*1)}。

*1 この選択の手法は本稿の本旨に触れず、到達可能な経路が少な

あるノードあるいはエッジ上において、目的地（のノード）を目指すユーザは、自分のいるノードおよびエッジ上で、目的地情報から目指す目的地の情報を引き、ノードの場合はどのエッジに、エッジにいる場合はどの方向（つまりどちらのノードに）進めばよいかを知ることが出来る。移動先のノード・エッジで同じプロセスを繰り返す。

図1において、ノード1にいるユーザがノード5に向かう場合、ノード1で目的地情報を引き、ノード5に向かうにはエッジ1→2に向かうべきであることを知る。このエッジを通してノード2に到達したユーザは再度目的地情報を引き、エッジ2→3に誘導され、ノード3では同様のプロセスでエッジ3→5に誘導され、目的地に到達する。

このノードでのエッジ選択および、エッジ内でのノード選択は、実世界では

- (1) 各通路では進む・退く
- (2) 各交差点では前・後・左・右を選ぶの行動となる^{*1}。

以上のような方式で、通路および交差点で局所的に情報配信を行うことで、ユーザを希望する目的地まで誘導できる事がわかった。しかし、実世界にいるユーザは、エッジ端やエッジ番号を指示されたとしても、それが実世界上のどの通路・分岐に当たるかどうかを知る事ができない。そこで次章では、送受信器に光学的な工夫を加え、ユーザに目的のエッジ端およびエッジの方向を指示する事が可能な方位指示器を提案する。

2.1 ユーザの方位検出

この章では、照明光によって配信された目的地情報を読み出し、ユーザに向かうべきエッジ端およびエッジの方向を指示するための仕組みについて説明する。本稿ではこのシステムを OptGuide と呼ぶ。OptGuide は4象限フォトダイオード（以下4象限PDと書く）と呼ばれる4つに分割された受光面を持つフォトダイオード（図3）から構成される受光素子である。OptGuide では、4象限PDの中心部の上部にピンホールを配置する。このため、4象限PDの各象限は、受光面とピンホールを結んで出来る立体内にある光信号を受信する。

2.1.1 通路の場合

いま、ユーザが図1内のノード3、5を接続する通路におり、OptGuide を保持しながらノード3に向けて進行しているとす。通路天井の両側に光送信器がすえつけられ、この通路にノード3を向いて立ったとき左側の送信器からノード3方向の情報が、ノード5を向いて立ったときの左側の送信器（すなわち、ノード3を向いて立ったときの右側の送信器）からノード5方向の情報が配信されている（図5）とする。

くとも1つ存在すればよい

*1 四叉路以上の分岐がないものと仮定する

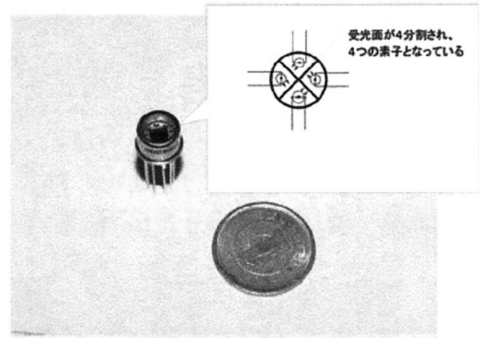


図3 4象限フォトダイオード

以後、進行方向に関する情報を、進行方向左側の光送信器から配信することに統一する。この規則を左手則と呼ぶ。

このとき、ユーザが向いているノード3の情報は、OptGuide の向かって右側の象限に入射している。

いま、OptGuide を保持したユーザが通路内で反転したとすると、ユーザの保持する OptGuide も反転する。このとき、ユーザは自身の左手にノード5の情報が発せられている光送信器を見る状態になり、ノード5の情報は、ピンホールを介してユーザ右側の象限に入射する。

つまり、左手則に基づいて送信器を配置した場合、ユーザの進行方向の情報は、つねにユーザ右側の象限から得られることになる。

2.1.2 交差点の場合

ユーザが交差点にいる場合も、左手則に則ることで進行方向の誘導を行うことが可能である。つまり、交差点の中央に立ち、各通路に向いた時に左手に来る光送信器から進行方向に関する情報を配信する。ユーザが各通路に向けて OptGuide を回転させたとき、右側の象限からの信号を監視していれば、OptGuide の向いた通路の目的地情報を得ることが出来る。

また、逆に4象限全ての受信情報を読み取れば、全

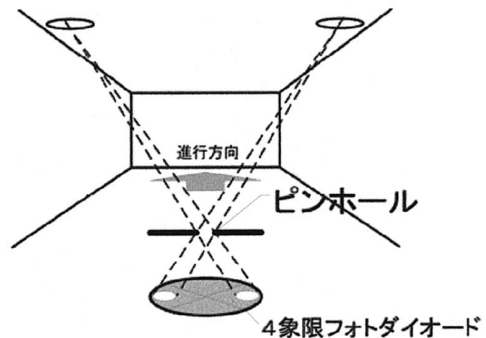


図4 OptGuide の概要

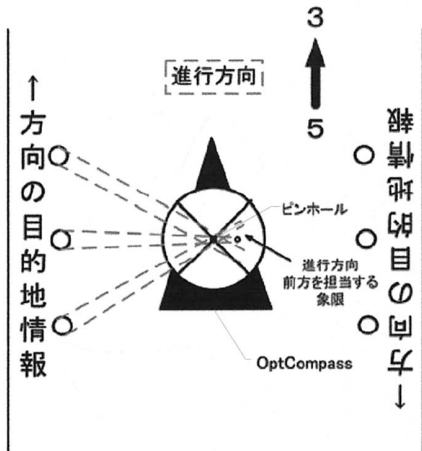


図5 通路の方向と、送信器と、受信する象限の対応1

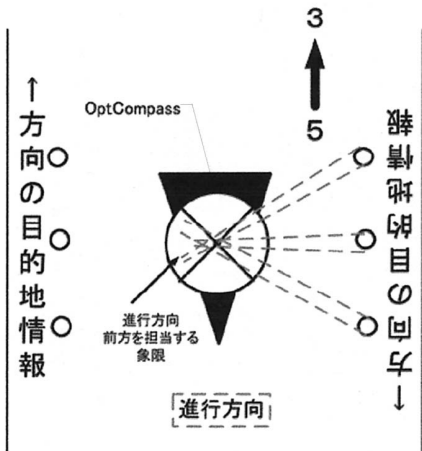


図6 通路の方向と、送信器と、受信する象限の対応2

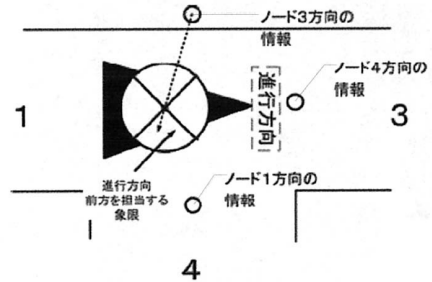


図7 通路の方向と、送信器と、受信する象限の対応3

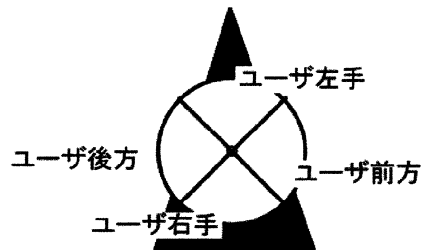


図8 光送信器と、受信する象限の対応

2.2 目的地情報

この章では、実際に光送信器から配信される目的地情報のコーディングの仕方の一例を示す。 n 個のノードがあるグラフで、目的地情報として n ビットのアドレスを取る。進行方向にあるノードの番号に対応するビットを1とし、その他を0とする。

図1のグラフではノードが5つあるため、目的地情報は長さ5ビットである。このときのノード1-2間の通路では、ノード2の方を向いたときに到達できるノードは2,3,4,5であり、ノード1に向かって到達できるノードは1である。従って、ノード2を向いたときの左側の光送信器から発せられる光信号は01111、右側からは10000である。

また、ノード2の交差点では、ノード1方向への情

での通路の目的地情報を得ることが可能であるので、この情報を元にユーザに方位指示を出し、誘導することも可能である。

図7に、ノード2における光送信器の配置例を記す。ノード3方向を向いたOptGuideは、ユーザ右側の象限からノード3方向に関する情報を受信することが出来る。ここで、ユーザが交差点内にいる場合、各光送信器からの光信号が入射する象限は、図8のようになる。従って、図7の状態では、OptGuideの右の象限にはノード3の情報が入射し、手前の象限にノード4方向の情報が、左側の象限にノード1の情報が入射する。この象限と図8の対応をとると、ユーザの正面にノード3があり、右側にノード4があり、後方にノード1があり、左側には何も無い状態であると決定することが可能である。

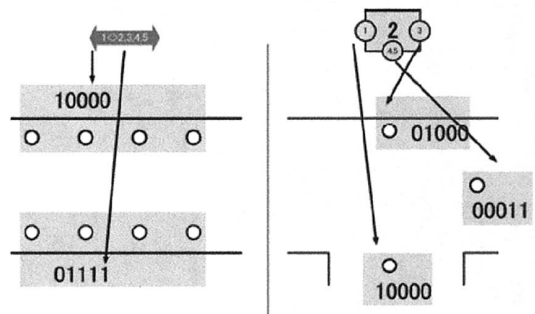


図9 左手側によって配置された目的地情報と、それを発する光送信器の位置関係

報として10000、ノード3方向への情報として00011、ノード4方向への情報として00011の信号が発信される(図9)。

2.3 現在位置

OptGuideは、各象限で受信された目的地コードのORを取る事でユーザの現在いるノード番号を知ることが可能である。ユーザが通路にいる場合、左側と右側のコードはビット反転されたものである。従ってOR計算を行うと全てのビットが1となる。また、ノード(交差点)で各象限のORを取ると、自分のいるノード以外のビットが1となる。従って、このビットを反転させることにより自分のいるノード(交差点)を特定することが出来る。また、ノードを結ぶ通路はノード番号0の特殊なノードであると考えることが出来る。

3. 誘導の方法

3.1 目的地が決定されている誘導

ユーザが希望する目的地が決定されている場合の誘導方法を説明する。OptGuideの各素子をLEDなどの方向表示機に接続し、4方向への方向指示器を持った方向指示板を作成する(図10)。

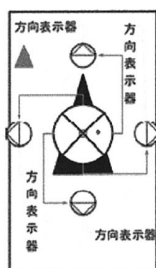


図10 OptGuideによる方向指示板

この方向指示板は、ユーザが事前に設定した目的地のノード番号に対応したビットの立った信号を受信した象限に対応するランプが点灯する仕組みになっている。

図1の出入口1から構内へ進入し、ノード4を目指しているユーザがいるとする。この目的地のノードのコードは00010である。ノード1において、ノード2方向を向いているユーザは、向かって右側の象限に01111のコードを受信している。このコードは4番目のビットが1であるので、右側の象限に接続された前方の方向指示器が点灯する。方向指示板に導かれてエッジ1-2に進入したユーザは、向かって左側の光送信器から01111のコードを受け取っている。従って、前方の方向指示器は点灯したままである。続いて、ノード2に到着したユーザは、左手から00101、正面から00010、右手から1000のコードを受信する。ここで、正面から00010の光が入射しているのだから、

ピンホールを介してOptGuideの手前の象限にこのコードが入射する。従って、この象限に対応した右側の方向指示器が点灯する。ユーザはこの指示に従い、ノード2内で右に方向を変える。すると、00010のコードを発していた光送信器はユーザの左方向になり、OptGuideの右側の象限に入射する。このとき、右側の象限に接続されている方向指示器は前方のものであるので、これが点灯する。ユーザがエッジ2-4に進入するとユーザの左側から00011のコードが入射するので、前方の方向指示器が点灯する。ユーザがノード4に到着すると、どのノードにも00010は入射しておらず、全てのコードの和が11101である。これは目的地ノードのコードである00010が反転したものである。従って、目的地に到着したことが分かる。

3.2 間違った行動をとった際の反応

以上は、ユーザが正確にOptGuide方位指示板の指示に従った場合であった。この章ではユーザが指示通りに動かなかった際のOptGuideの反応を示す。OptGuideは局所的に配信されている目的地情報を受信しているだけであるから、ユーザのとった経路の誤りを検知することはない。しかし、図1の構造から分かるように、ユーザが目的地に到達できない進行方向をとった場合は、自然に「後戻り」する指示が出る。また目的地への経路が複数ある場合は、自然に他の経路を指示する。以下にその例を示す。

3.2.1 通路にいる場合

ユーザが通路において何らかの理由で指示された方向から逸れたとする。こうした行動をとる原因として、例えば通路の途中にあるキオスク等に立ち寄り、出てくるなどの事態を考慮することが出来る。このとき、ユーザは通路の壁面を向くのみならず、ユーザの持つOptGuideは90°回転する。以下にユーザが3-5の通路内でノード3に向けて進行中に、右を向いた際のOptGuideの動作を示す。

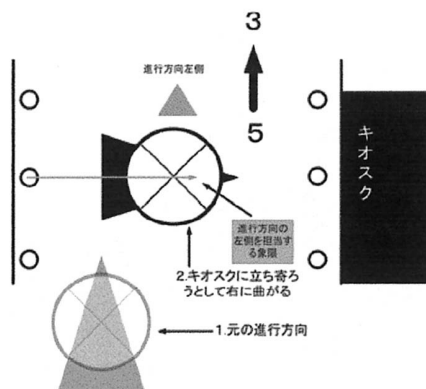


図11 進行方向を90°変えた際の受信象限と、通路の方向

このとき、回転前までユーザの右手象限に入射していた信号は、回転後はユーザの手前の象限に入射する(図 11)。手前象限に対応しているのは、ユーザ左手を指す方向指示器である 8。ユーザは右に 90° 回転したのだから、左手は回転する前まで進んでいた方位である。つまり、方向指示器によって指示される方位は、回転前と後で同じ方向(ノード 3 向き)を指している。

3.3 交差点にいる場合

交差点で指示に従わないケースとして、ユーザが右折・左折の指示に気づかず、通り過ぎる事態を挙げる事が出来る。本章ではこの場合の動作について説明する。ユーザが曲がるべき交差点を通り過ぎ、誤った通路に進入した場合、OptGuide はこの通路からの光信号を受信する。

この場合、方向指示板はいくつかの種類の挙動を示す。以下にその例を挙げる。

例えば、図 1 において、ノード 4 を目指し、ノード 3 からノード 2 に向けて歩いているユーザがノード 2 を行き過ぎた場合、通路 2 → 1 に進入する。通路 2 → 1 では、2 → 1 方向の目的地コードが 10000 であり、1 → 2 方向のコードが 01111 である。従って、ノード 2 からこの通路に侵入した場合、方向指示器は後ろを指し、ユーザに戻るよう指示を出す。このように、行き過ぎから戻るように指示が出るケースもある(図 12)。

一方で、ノード 5 を目指すユーザがノード 1 からノード 2 に歩いている際のことを考える。ユーザがノード 2 に到達すると、右側の方向指示器が点灯し、通路 2 → 4 に向かうよう指示される。ユーザがこれを見落として直進してしまうと通路 2 → 3 に進入するが、この通路のノード 3 方向の目的地コードは 00101 であるので、方向指示器はそのまま直進するように指示する。これはノード 5 に到達する経路が複数あり、ノード 2 からノード 3 に向けて進んだとしてもノード 5 に到達することは可能だからである。

このように、ユーザが方向表示器の指示に従わない場合、1) 戻るように指示する、2) 別の経路を選択して目標に誘導するのどちらかの動作が自動的にとられる。

4. 応用シナリオ

ここで、本技術の応用シナリオを紹介する

4.1 PHASE1:静的誘導

地下鉄の出入り口の階段を降りたユーザが、目的の地下鉄のホームまでの誘導を行う。ユーザは、目的地情報と、その内容の照合表(図 1 を例に取れば、ノード 1、3 が出入口、ノード 4 が改札口、などの対応表)を、地下鉄構内に入ったときに別の手段(無線 LAN、QR コード)などからあらかじめ取得する。こ

の照合表からホームを選択すると、OptGuide システムは目標のノード番号を元に目的地情報を検索し、誘導を開始し、到着したら知らせる。

4.2 PHASE2:動的誘導 1

ホーム上でユーザが目的の駅を指示する。このとき、地下鉄を乗換える事が必要であることが判明した。乗換駅での最も効率の良い乗り換え経路が算出され、ホーム上のユーザに対して、乗換駅での最も適切な下車位置(乗り換え階段の脇など)で列車に乗り込めるような位置まで誘導が開始される。

4.3 PHASE3:動的誘導 2

乗換駅で地下鉄を下車し、駅の構内を乗り換えの電車まで誘導する。乗り換え列車が複数あるケースや、出発するホームが複数ある場合もあるので、建造物の出入り口のように目的地が常に一定している訳ではない。そこで最も早い到着時間の列車を算出しそのホームまで誘導する。この誘導は、列車の到着状況によって動的に変化するため、案内を動的に変化させる必要がある。こうした誘導を行うためには照明光を集中制御するための設備が必要である。

4.4 PHASE5:他の検索との組み合わせ

目的の駅に達しようとするユーザは、今度は地上のバスターミナルに最も近い出入り口を検索し(地上の目標から出入り口を引き)、OptGuide はその出入り口に誘導を行う。

5. 考 察

本稿では、照明光を使用した屋内での誘導システムを作成した。

従来の GPS を利用したナビゲーションシステムでは、ユーザの座標から地図上の位置を算出し、ユーザの取るべき経路を指示している。また、屋内で RFID や無線 LAN を使用した手法も提案されているが⁵⁾、位置計算などを行う必要がある。

これに対して、本研究では屋内の構造をあらかじめグラフ化し、通路・交差点毎に目的地へ向かうための情報(目的地情報)を配信し、局所的な誘導を繰り返すことでユーザを目的地に誘導する手法を提案した。目的地情報は、各交差点・通路ごとに全ての目的地について配信する必要があるため、膨大な量になる。この情報を配信する方法として、照明光通信を利用することを提案した。

また、照明光通信ではデータを配信できるだけで、ユーザに実空間で進むべき方法を指示できるわけではない。そこで、本稿では、目的地情報から方向指示が可能なシステムを提案し、OptGuide と名付けた。このシステムは、ユーザに目的地情報を配信する照明光を特定のパターン(左手側)で配置し、受信側が 4 象限フォトダイオードと呼ばれる半導体を利用して受信することで、ユーザに対して進むべき方向を指示でき

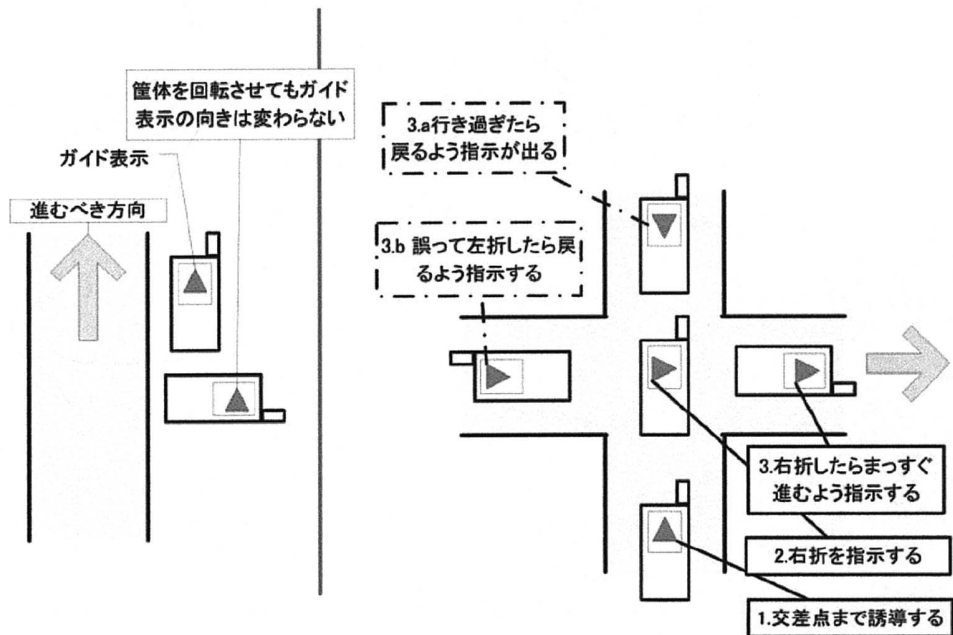


図 12 ユーザが指示に従わないときの動作

るデバイスである。

本稿ではこれら 2つの工夫により、ユーザの位置情報を計測しなくても、ユーザを目的地まで誘導することが可能なことを示した。

6. 今後の研究

本稿では、OptGuide システムの評価を幾何光学的に行った。筆者はこのシステムの実装を進めており、実働システムでの評価を予定している。

7. 謝辞*

本研究は科研費の助成による光信号の変調技術の一部に使用している。

参考文献

- 1) 矢部宏樹：複数センサを用いた信頼度マップに基づく個人同定・状態検出，情報処理学会第 66 回全国大会，2004 (2004)。
- 2) 健一石井，充敬森崎，淳一松田，顕尚倉島，俊太郎山崎：B-5-225 ハイブリッド無線 LAN 測位システムの提案 (2)：照明位置タグシステムの提案 (B-5. 無線通信システム B(ワイヤレスアクセス))，電子情報通信学会総合大会講演論文集，Vol.2004, No.1, p.712 (20040308)。
- 3) 小峯敏彦，田中裕一，春山真一郎，中川正雄：白色 LED 照明を用いた照明光通信の提案，電子情報通信学会技術研究報告。OCS, 光通信システ

ム， Vol.101, No.394, pp.37-42 (20011019)。

- 4) 寺内梨奈，春山真一郎，中川正雄：照明光通信と次世代電力線通信の融合に向けた白色 LED 広帯域化の検討 (ホームネットワーク)，電子情報通信学会技術研究報告。IN, 情報ネットワーク，Vol.106, No.578, pp.423-428 (20070301)。
- 5) 井上信介，谷口浩輔，那毅，野口豊司，徳田英幸：屋内位置把握・誘導フレームワークの提案 (セッション 3：フレームワーク)(議題：ユビキタスコンピューティング, 情報家電, スマート情報環境, 都市の情報インフラ設計, 他)，情報処理学会研究報告。UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム]，Vol.2004, No.66, pp.57-62 (20040621)。