

## 位置に基づく通信の提案

中 島 秀 之<sup>††</sup> 伊 藤 日 出 男<sup>†</sup> 山 本 吉 伸<sup>†</sup>

サイバーストプロジェクトの構想と、位置と状況に依存した情報サービスのための位置に基づく通信とプロトコルの考え方を提案する。特に位置に基づく通信の例として室内レーザレーダシステム *i-lidar* について述べる。

### Proposing the Location-Based Communication

NAKASHIMA HIDEYUKI<sup>††</sup> ITOH HIDEO<sup>†</sup>  
and YAMAMOTO YOSHINOBU<sup>†</sup>

In this paper, we introduce the Cyber Assist project and the concept of location-based communication and protocol, for location-dependent and situation-dependent communication and information services.

We describe an indoor laser radar system, *i-lidar*, as an example of location-based communication system.

#### 1. はじめに

これまでの情報処理技術は主として“誰でも、いつでも、どこでも”情報にアクセスできることを追求して来た。インターネットが急速に普及しつつある現在、この恩恵は広く行き渡りつつある。そして、今後ますますその方向に進むことは間違いない。ネットワークだけでなく情報処理機器がすみずみまで行き渡り、ユビキタス情報社会が到来する。

しかしながら、情報処理が行き渡ると同時に情報洪水が起こっている。インターネットで発信される情報は個人が読める量をはるかに越えており、現在の検索技術だけでは欲しい情報さえ入手困難になりつつある。個人メールの量も増加の一途をたどり、個人では読み切れない量に達するものもそう遠い日ではあるまい。同時に、プライバシーの危機が迫っていることも明白である。クレジットカード会社には個人の購買履歴が蓄えられている。有料道路料金にクレジット清算により、ドライブの履歴がこれに加わる。今後はこれらに対する対策として、“知りたいことを、知りたいだけ”あるいは“知られたくないことは知られない”ための技術が重要となる。

このような技術を提供しようとするさまざまなアプローチが試みられているが、われわれは、物理的な“位置”やそれに関連する意味的な情報が手かかりとしたさまざまな支援サービスの実現を目指すサイバースト(Cyber Assist)プロジェクトを提案している<sup>1),2)</sup>。これにより、状況に応じた適切な情報提示(情報洪水の救援)と、プライバシーを保護したかたちでのサービス提供が可能になると考えている。

以下ではまず第2節でプロジェクトの概要について述べ、第3節以降でプロジェクトが立脚する基礎技術の一つとして位置

に基づく通信の考え方を提案する。

#### 2. サイバーストプロジェクト

“サイバー”という用語はインターネットとそれに接続されているコンピュータが創り出す仮想の論理空間の意味で用いられることが多いが、我々は本来の cybernetics の意味で用いる。

**cybernetics:** the comparative study of the automatic control system formed by the nervous system and brain and by mechanical-electrical communication systems and devices (as computers or thermostats) [Webster]

制御と通信を扱う学問 [リーダーズ]

つまり、“サイバー空間”とはセンサー・アクチュエータ網とそれにつながる制御系のことであるが、これは“実空間”を“情報”の観点で捉え直すことを意味する。すなわち  
サイバー空間=実(物理)空間+デジタル(論理)空間  
である。

本プロジェクトの目的はデジタル空間を実空間にグラウンディングすることにより、人間中心の情報処理技術を確立することにある。つまり、実空間の提供する豊富な情報を処理の過程で利用することにより、デジタル空間の意味処理を可能にし、人間のサポートとする。その意味では様々な物理情報を扱うことを考えているが、ここでは位置を中心に述べる。

これまでの情報処理技術の研究開発はともすれば可能性の追求に主眼がおかれ、人間が置き去りにされる傾向にあった。たとえば老人などの情報弱者への情報支援に関しては技術的に困難な課題が山積みされたまま、あまり改善がみられない。われわれは、個人用携帯情報通信デバイスと AI 技術とを組み合わせることにより、情報弱者にも優しく、安心して使える、

<sup>†</sup> 電子技術総合研究所  
Electrotechnical Laboratory  
<sup>††</sup> 北陸先端大  
JAIST

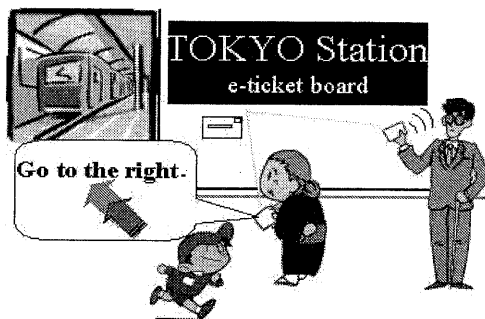


図1 マイボタンのイメージ

環境と融合した技術体系を構築するための研究を提案することを目的としている。

本プロジェクトで現在予定している研究内容を図1に示す。すなわち、位置に基づく通信 (location-based communication)、インテリジェントコンテンツ (intelligent content)、および状況依存インタラクション (situated interaction) という3つの基礎技術を構築し、これらを組み合わせることによって可能となるさまざまな応用サービス技術を開発する予定である。この図で応用サービスとして挙げられているのは一部の例であり、これら以外にもいくつかのサービス技術を開発することになるだろう。

これらの応用技術を開発するためのプラットフォームとして、状況依存型インタフェースを備えた超小型携帯デバイスを作成する。このプラットフォーム上で上記の基礎技術をすべて統合する代表的なアプリケーションとして、マイボタン (My-button) を開発する。

サイバースピストは人間中心の情報処理支援を目標としているが、インターネットが大容量・高速を目指しているのとは逆に、小容量のそれほど早くない通信で手軽に日常生活をサポートするという観点を重視する。理想的なインターフェースとしてはボタンが一つだけあれば良い。マイボタンは、位置に基づく通信においてはユーザの物理的文脈に関する情報が利用できるので、街中に設置された通信インフラ (通信アンテナ、位置タグ、自動販売機、駅の改札など) と位置に基づく通信を行なうことによって状況を認識し、ユーザを支援する。常に特定の個人が使い続けることにより、その嗜好などを学習しておけば状況に応じてボタンクリックの意味を一意に定められることを目標としている。しかしながら、現実問題としてはそこまでインターフェースの単純化は (特に初期段階では) 不可能であるので、情報弱者への支援を念頭に置き、GUI、音声対話、画像理解等をも併用した、人間中心の知的インタフェースの実現を目指す。

位置に基づく通信の匿名性の高さを利用して、電子マネー取引や電子投票への応用も展開する。

### 3. 位置に基づく通信

位置に基づく通信はこれまでになかった新たな技術の体系

であり、サイバースピストプロジェクトにおいて中心的な役割を担う。

インターネットではIPアドレス等の、通信対象をユニークに同定するためのIDを必要としている。DHCPやアドホックネットワークのように固定のアドレスを使わない手法もあるが、これらもMACアドレスなどのように、下位のレイヤーではユニークなIDを要求しており、それに基づいて通信先を同定している。

IDを用いれば世界中の誰とでも通信ができる反面、通信キャリアからも常に通信相手が同定できてしまうため、プライバシーの問題が発生する。ちょうど、郵便の封書で通信の中身は保護できるが、宛先がわかってしまうのと同じである。そこで、IPアドレスのような個体が同定できるIDを使わず、空間内の相対的・絶対的位置を宛名として通信・サービスを行なう技術を開発することを考える。位置を使うことにより、通信者のプライバシーを明かすことなく通信が可能となる。

また、現在のIDに基づく通信では論理アドレスを用いるために、通信者がおかれた状況を利用することが困難である。位置という物理的性質を通信に導入することにより情報処理の可能性が広がると考えている。

これにより様々な新規コミュニケーションメディアの実現が可能と考えている。たとえばラウンドテーブルの会議などで電子的に名詞交換をすることを考えると、位置の指示だけで通信できる方式が圧倒的に有利である。IDに基づく通信では名詞交換前に相手のIDを知らねばならないというデッドロックが起こる。

なお、この技術はIDによる通信を置き換えるものではなく、場面によりそれを補完するものと考えている。原理的には地球上のすべてを位置による通信で覆うことも可能であるが、これは不要であるし、プライバシーの面からも好ましいことではない。\*位置に基づく通信は一つの建物の範囲程度で閉じているのがよい。そのため、遠距離の通信はインターネットへと接続する必要があり、位置に基づく通信とIDに基づく通信の間のインターフェース (プロトコル) の開発も必要である。たとえば

$(x, y, z, t) @ \text{building.town.country}$

のように、建物 (あるいは部屋) まではIDで接続し、その内部を相対位置で同定することを考えている。

## 4. 研究開発要素

### 4.1 位置同定

位置に基づく通信では、対象の同定に位置を用いる。これはGPS等による絶対位置でも、相対位置でも良いが、通信の双方が位置を同様に認識している必要がある。屋外では従来からのGPSが使用可能であるが、屋内に関しては別途位置同定技術を開発する必要がある。我々は後述する室内レーザーレダを試作し、誤差数cmの精度を得ている。

### 4.2 位置追跡

マイボタンを持った人間は移動する。IDを用いないため

\* 後述のように、位置に基づく通信では、位置の追跡を必要とするので、全世界にわたって個人の位置を追跡するのは好ましくない。

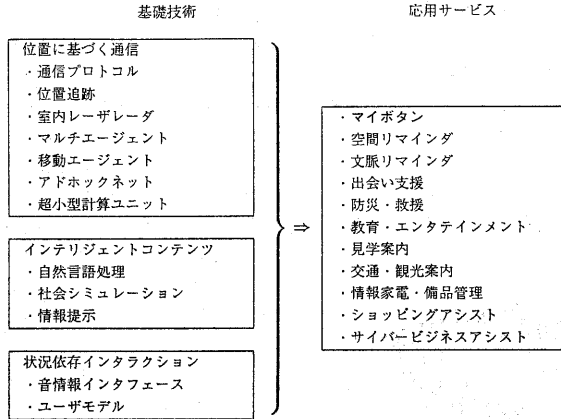


表1 サイバーアシストプロジェクトの概要

に、一旦位置を見失えばもはや同定は不可能である。移動する間通信を維持するためには位置を追跡する必要がある。

屋外でも屋内でも位置同定ができることは望ましいが、連続して追跡できることはあまり好ましくない。個人の位置が追跡できることになってしまうためである。そのため、追跡範囲は建物内部程度に限られる方がよい。また、任意の時点で電源を切れれば、あるいはマイボタン側が通信を中断すればその時点で追跡は不可能になる。これによりプライバシーの保護は可能であると考えている。

#### 4.3 通信プロトコル

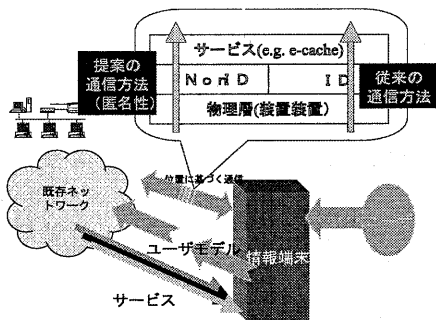


図2 位置に基づく通信/プロトコル

位置を用いたアドレスで通信を行なう。内容に関しては従来のプロトコルが使えるので、宛先部分だけを新規に考えればよい。IP(v4あるいはv6)との互換性を保つ必要があるので、最も簡単なのはx, y, z, tをASCIIで送ることである。たとえば

134.23.190.23:11:00.2001-01-05@D512.etl.go.jp  
 のようなアドレッシングが考えられる。早急に標準化したい。

上記は相対アドレスの例であるが、絶対アドレスを用いるためにはもう少し研究が必要である。たとえば地表は3次元

であるが、これを表すための座標系の設定が必要である。

なお、位置に基づく通信には2通りの方法がある放送1対1通信放送方式ではバケットの先頭に目標位置を付けて流すため、受け手も自分の位置を把握している必要がある。1対1通信ではたとえば光ビームなどを特定の対象に向けて送るのでメッセージや受け手には位置の情報は必要ない。送信側だけがターゲットを特定できればよい。

光ビームによる通信は傍受されにくいという利点を持っているが、一方で障害物などに弱い。

#### 4.4 セキュリティ

位置をIDとする通信で情報提供などのサービスを行なう場合、匿名性とセキュリティは相反する要因である。このため、サービス提供は匿名性に依って段階的になる。たとえばコマーシャルのように相手を特定せず流して良い情報から、有料で特定の相手だけに流す情報まで存在する。さらに、医療診断情報のように他人に知れては困るものも存在する。

位置に基づく通信においては個人認証は通信のアドレスではなく、通信の中身として送信される。このため必要な場合にのみ両者が合意した形でプライバシーに関する情報を伝達することが可能となる。

通信の内容を秘匿するためには暗号技術が使える。しかしながら、位置に基づく通信で形成されるネットワークはアドホックネットワークのように、任意の時点で新規参加が可能であるため、通信内容の秘匿にはより一層の注意が必要である。我々は位置に基づく通信の特性を活かした秘匿手法としてカオスダイナミクスを用いた暗号通信技術を考えている。あるいは通信ビームを特定の空間に絞り込むことにより、物理的な秘匿も可能であろう。

#### 5. 室内レーザーレーダ

携帯デバイスの位置の取得する方法としては、サーバがデバイスの位置を測定する方法と、デバイス自身で位置を計測し、それをサーバに通信で通知する方法の二種類が考えられる。ここでは、携帯デバイスの消費電力と通信容量の低減そし

てセキュリティを考慮して、前者を採用した室内レーザレーダシステムの概要を述べる。

室内レーザレーダ<sup>3)4)</sup>は実世界における情報サーバと個人が持つ携帯デバイスとの間のインターフェースの例である。室内レーザレーダを用いたシステムは、情報サーバが携帯デバイスの位置を精密に知ると同時に、サーバと携帯デバイスとの情報通信を実現している。ここではこの室内レーザレーダを **i-lidar** と呼び、i-lidar と組み合わせて利用する上記超小型携帯デバイスを **HV ターゲット** と呼んでいる (図3)。

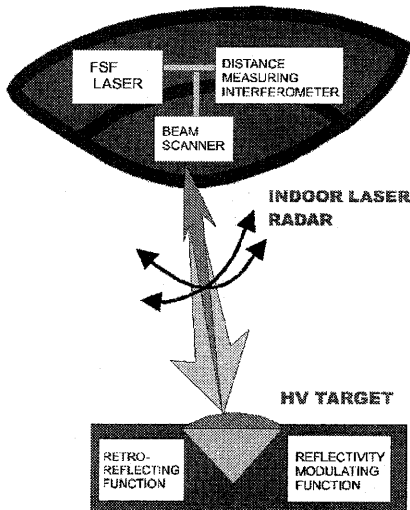


図3 i-lidarの構成

i-lidar は距離測定装置として、FSF レーザシステムと、光を偏向し、同時に照射方向を検出する2次元走査装置を組み合わせた室内レーザレーダシステムである。レーザ光を任意方向に偏向するためには、いくつかの方法があるが、ここでは2枚のミラーをガルバノメータスキャナで回転させることにより偏向させる方法を採用した。機械的な動作でミラーを回転させるため、速度や角度範囲の面で限界があるが、現在、比較的入手が容易であり、コストパフォーマンスの面でもバランスがとれている点を考慮した。位置計測と通信の媒体としては、マイクロ波から光までの各種電磁波や超音波等が考えられるが、位置測定精度と人体への安全性を考慮して赤外レーザ光を使用する。

光源からの光信号はスキャナにより走査される。対象物体からの反射光は、出射光とほぼ反対の経路をたどり、フォトダイテクタに入射される。得られたデータは制御用パーソナルコンピュータで処理され、対象物体の位置情報が算出される。図中では、対象物体としてコーナーキューブプリズムを使用している。この装置は入射してきた光信号を再帰反射して、常に光源側に返送する機能を持っている。

室内で対象物の位置情報を短時間で、かつ効率よく検出するために、システムの動作を2段階に分けて行う。第1段階はプレスキャン動作で、対象となる空間すべてに対しレーザ

光を連続的に走査させる。その間に対象物に取り付けた反射器(ターゲット)から反射光があれば、そのときのレーザ光照射方向を記録しておく。第2段階は距離測定動作で、プレスキャン動作により得た、対象物の存在する方向に向けて再度レーザ光を照射して距離測定を行う。対象が複数個存在する場合は個数分繰り返し距離測定を行う。現状では、第1段階のプレスキャン動作が3~4秒、第2段階の距離測定動作がターゲット1個あたり0.1秒程度の時間を要するため、さらに高速動作のための制御方法の研究も並行して進めている。

サーバから携帯デバイスへのデータ送信は変調されたレーダビームをデバイスに照射することで実現する。一方、携帯デバイスからサーバへのデータ送信は、デバイスに照射されているレーダビームに対し、反射率を変調することで実現する。これは携帯デバイスのデータ送信に伴う消費電力の低減に有効である。

“HV ターゲット”は、コーナーキューブやガラスビーズのような光源に対して再帰反射を実現する素子により、レーザレーダから照射されたレーザ光をレーダに正対して反射するとともに、レーザと再帰反射素子の間に透過率変調素子を付加する等により、等価的な反射率に変調を加え、受動的なデータ送信を実現する。HV ターゲットとしては、表2に示すように、コーナーキューブに液晶シャッタを組み合わせる単純な構成から、小体積で高速動作が可能な構成まで各種の実装レベルが考えられるが、今回の研究開発では研究期間等の制限により、レベル1およびレベル2での実装によりシステムとしての実験を行った。

レベル1	コーナーキューブ+液晶光シャッタ
レベル2	コーナーキューブアレイ+液晶光シャッタ
レベル3	反射型液晶空間光変調器
レベル4	反射型半導体空間光変調器

表2 HV ターゲットの実装レベル

## 6. 応用サービス

ここでは、以上で述べた基礎技術のさまざまな組み合わせによって実現できる情報サービスの例を挙げる。位置に基づく通信では、IDをアドレスに用いないため匿名性が高いので、特にこの点を論じる。

### 6.1 見学案内

前述の室内レーザレーダ(i-lidar)システムのひとつの応用として、博物館等における観客案内システムが考えられる。このシステムは、館内のユーザに対し、展示物の詳細情報を、超小型携帯デバイス(HVターゲット)を介して提供するものである。

観客は知りたい対象に対してマイボタンを向けボタンを押す。マイボタンには2個のコーナーキューブが間隔を空けて配置されており、この2個のコーナーキューブの位置を3次元的に測定することでそのHVターゲットの三次元的姿勢(位置と向き)を計測し、ターゲットがどの展示物を指しているかを計算し、詳細情報をマイボタンに向かってダウンロードすることができる。

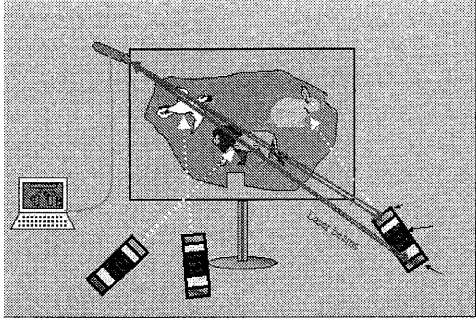


図4 マイボタンによる動物案内

このような携帯端末を入館時に貸し出すことによりユーザの匿名性を維持することも考えられるが、むしろ個人端末を持参することにより、ダウンロードした情報を持ち帰れる方が良いであろう。情報提供側としては匿名の相手に無制限に情報を提供したくないかもしれない。そのような場合にはマイボタンからのIDの発信を要求してもよい。すなわち、身元を明かす程度に応じてより高度なサービスが受けられるようにすることにより、プライバシーとセキュリティのバランスをとるのである。

### 6.2 ショッピングアシスト

ショッピングモールや商店街にマイボタンを配置することにより、自動課金システム、マーケティング情報の自動収集や商品情報の呈示など消費者と商店側の双方を支援するサービスが考えられる。

商店の中の商品棚やモール内の通路にマイボタンと情報呈示のディスプレイがあり、消費者が使うショッピングカートにもマイボタンがついている。位置情報を用いて消費者がカートに入れた商品の特定を行い、モールの出口で自動的に代金が清算され、現金無しで買い物できる。

また、消費者がカートについているマイボタンから目の前にある商品の情報や店やトイレの場所などを知ることができる。その他、タイムセールなどのアトラクションにも用いることができる。また、カートと商品棚の双方のマイボタンの通信により、消費者の移動経路や滞在時間購入商品など今までのPOSデータより詳細なマーケティングデータをリアルタイムに自動収集することが可能となる。収集されたデータをもとにリアルタイムな需要予測を行い、商品の価格や配置にすぐに反映することができる。値段などの商品情報はディスプレイで表示されるので、今までよりも柔軟で速やかな値段や配置の変更が可能となる。また、消費者の移動経路データより、モール内の広告内容や配置をより効果的なものに変更することも可能である。さらに、物流時の箱や、物流拠点にもマイボタンがあれば、ロジスティクス戦略の変更がほぼリアルタイムに現在の商店での情報を反映できる。

このような情報収集は、匿名でない消費者の拒否がありうる。特に清算時に匿名性が維持されることが肝要である。クレジットカードを用いたのではこの時点で消費者のIDを店

側に知らせることになる。現在は消費者の嗜好や店内での行動情報がオンラインで管理されているわけではないのでクレジットカード清算でもそれほどプライバシーの問題はないが、ここで述べているような全体的サービスが開始されたときには消費者のプライバシー保護は重要な要素となる。そのためクレジットカードではなく、プリペイド方式や電子キャッシュ方式が併用されるべきである。

### 6.3 防災・災害救援アシスト

災害を未然に防いだり、災害が発生した場合の有効な戦略策定のためには、正確な情報の収集、ならびに状況の認識が不可欠である。マイボタンの持つ情報センシング能力、およびインフラとの通信機能を用いて、災害発生前の平常時ならびに災害発生後の非常時の双方における情報収集、情報伝達、救援戦略の策定・検証を効率的に行えるだろう。

マイボタンの持つ情報収集・伝達機能を用いることにより、災害や犯罪を未然に防ぐ“防災アシスト”、さらには災害が起こってしまった場合にその損害を最小限にとどめたり、また有効な救援計画の策定を行ったりする“災害救援アシスト”が考えられる。

このため、マイボタン上での非常時通信システム、ならびにその効果を検証するための大規模複合型シミュレーションシステム（ロボカップレスキュー）の研究を行う予定である。災害発生が予期されるような状況において、ユーザの意図に関わらず半強制的に避難勧告等の情報伝達を行ったり、ユーザの所在をインフラ経由で通知する技術を開発する。この技術は、防災のみならず防犯にも利用できる。

また、マイボタンの匿名通信機能を用いて、人を含む移動体の分布・移動に関するデータを平常時から収集しておけば、災害発生時に有効な初期救援計画を生成することもできるだろう。マイボタンの持つセンサは、いざ災害が起きた場合には現場からのリアルな情報収集のためのセンサ群として利用され、救援計画の策定に利用される。その際の情報の輻輳を防ぐため、マイボタンがインフラの状況を判断して、発信データの優先順位や送信するタイミングを制御する技術を開発する必要がある。

この場合にも人の通常時の行動などがモニターされることになるため匿名性が重要である。

## 7. まとめ

サイバースタディーズ研究についての現在の構想について、位置に基づく通信を中心に述べた。位置に基づく通信は、IDを用いないため匿名性の維持に有利である。

位置に基づく通信には

- (1) (現在のインターネットに採用されている)放送方式
  - (2) 特定のターゲットのみに送信する方式
- の二つが考えられ、それぞれに長短がある。前者の放送方式では電波を用いることが可能で障害物に強い一方盗聴や妨害に弱い。後者は光などを用いるので盗聴には強いが障害物に弱い。ここでは後者の方式の一つとして、レーザレダによる通信、i-lidarについて述べた。

i-lidarでは位置測定とサーバから端末への通信にレーザ

ビームを利用している。また、端末からのアップリンクは反射率制御による方式を利用している。後者は液晶のスイッチング速度に依存し、高速通信は行なえないが消費電力が低いという利点がある。

#### 参 考 文 献

- 1) 中島 秀之, 久野巧, 山本 吉伸 “位置に基づく情報サービス”, *MACC'98* (1998).
  - 2) 中島 秀之, 石田 亨, 西田 豊明, 久野 巧 “サイバシティ計画”, *コンピュータソフトウェア*, Vol.16, No.5, pp.84-90 (1999).
  - 3) 伊藤, 山本, 山本, 吉田, 阿部, 大宮司, 原, 真野, 松田, 西山, 下田, 中村, 伊藤 : “室内低消費電力無線通信ターゲット用レーザレーダシステム” *電総研彙報*, pp.79-85, Vol.64, No.3 (2000).
  - 4) H.Itoh, S.Yamamoto, M.Iwata, Y.Yamamoto: “Guest guiding system based on the indoor laser radar system using HV targets and a frequency shifted feedback laser”, *International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies 2000 (CPT2000)*, 2000.
-