

# 測域センサのためのコマンドインタフェース“SCIP 2.1”

## — 無駄のない測距要求と光強度値の取得 —

○飯島純一(明星大学) 吉田智章(千葉工大) 前山祥一(岡山大) 川田浩彦(筑波大)

原祥堯(日立・機械研) 大矢晃久(筑波大) 油田信一(筑波大)

### The Command Interface Protocol “SCIP 2.1” for SOKUIKI Sensor

\*Jun'ichi IJIMA (Meisei Univ.), Tomoaki YOSHIDA (Chiba Institute of Technology),

Shoichi MAEYAMA(Okayama Univ.), Hirohiko KAWATA(Univ. of Tsukuba),

Yoshitaka HARA(Hitachi, Ltd.), Akihisa OHYA(Univ. of Tsukuba), Shin'ichi YUTA(Univ. of Tsukuba)

**Abstract** — We have proposed SCIP 2.1 which is command interface for SOKUIKI sensor. This protocol is for the use of SOKUIKI sensor in the real time environment measurement especially in the robotic applications. The command set includes the command to get acquired reflection intensity as well as the distance to the reflecting target.

**Key Words:** SOKUIKI sensor, sensor command interface, SCIP, Intensity data

## 1. はじめに

小型で高精度の測域センサは、ロボットの環境認識のために極めて有効であり、近年発売された測域センサ(北陽電機[1]社製URGシリーズ)は既にロボティクス分野でも広く使われている。筆者ら測域センサコマンドインタフェース研究会ではこの種の測域センサを対象とし、ロボット開発者から見て期待されるインタフェースプロトコルを検討、設計している。このインタフェースプロトコルは SCIP(Sensor Communication Interface Protocol)の名で公開され、上記の北陽電機社製測域センサである URGシリーズに採用されている[2]。

当初、2004年に設計・公開したインタフェースプロトコル SCIP 1.0 は、センサのレーザは常に点灯しておいて測距することを前提に、距離データ要求コマンドなどを含む4種類のコマンドを有していた。これに対し 2006年にはレーザの無駄な発光を避けるなど、きめ細かい制御を可能とするため4種類の距離データ要求コマンドなど、計13種類のコマンドを規定したコマンドシステムとして SCIP 2.0 を設計・公表した[3]。

一方、レーザ光を投光してその反射光を得る測域センサでは、その反射光の受光強度も反射対象物体に関する大きな情報を与える。例えば光強度データを用いれば図1の様に三次元化された測域センサで濃淡画像を生成したり、スキャンマッチングの信頼度の向上を図ること[4]などが可能となる。そこで、SCIP 2.0 に光強度データを出力する新たなコマンドを追加し、これを SCIP 2.1 とすることとした。

本稿では、まず SCIP 2.0 の内容について記し、次に SCIP 2.1 で追加されたコマンドについて述べる。

## 2. SCIP 2.0

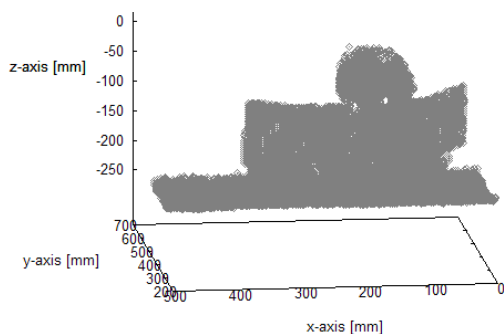
### 2.1 概要

図2に示したように、SCIP では測域センサに対する動作の要求は『コマンド』の発行で行う。動作結果は、センサからの『応答』で返される。

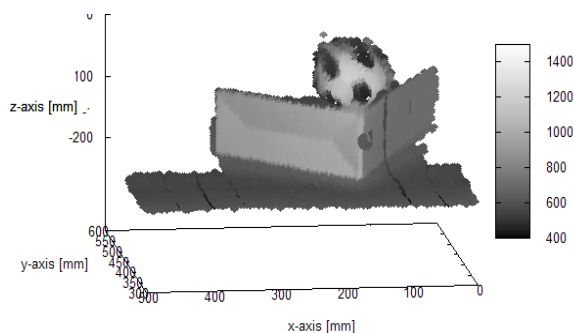
SCIP 2.0 には表1のコマンドがある。距離、角度、時間は以下の通り表現する。

#### (1) 距離

mm を単位として整数値で表現する。距離測定の基準点は測域センサの走査(回転)中心とする。



(a) 距離データのみによる点群データ



(b) 光強度値を加えた濃淡点群データ

図1 URG-04LX による3次元点群データ

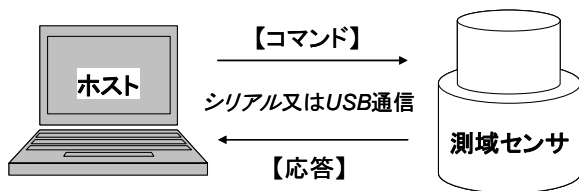


図2 SCIP インタフェース

(2) 角度(方位)

装置によって決まる走査の最小の測定ステップ間の角度を単位として、装置に対して定められた測定基準方位を0とし、反時計回りに増加する。

(3) 時間

ミリ秒を単位として24bitの正または0の整数値で表現する。

2.2 コマンドと応答の形式

図3にSCIP 2.0のコマンドと応答の形式を示す。

ここでコマンド符号は表1に挙げた2文字の英大文字であり、パラメータは数字で始まる文字列で、コマンドによって長さや形式が異なる。応答ではコマンドのエコーバックとステータスコードが必ず送信される。ステータスコードはセンサの状態やコマンドの受付状態などを示す。SUMはチェック符号である。続いてのデータは必要な場合のみ送信される。応答の最後はL<sub>F</sub>L<sub>F</sub>とする。

2.3 タイムスタンプ

測定した距離データを応答する際に、タイムスタンプが1つ付加される。タイムスタンプは、センサの走査方位が測定基準方位を向いたときの測域センサ内のタイマ値である。

センサの走査速度や通信速度は一般にセンサと搭載するロボットや観察対象物の動きに対して十分に速くはない。そこで、このタイムスタンプはセンシングした時刻と他の制御系の同期を取るために用いられる。

2.4 コマンドの説明

2.4.1 センサ情報要求コマンド

SCIP 2.0には3種のセンサの情報を要求するコマンドがある。“VV”はセンサ本体やファームウェアのバージョン、センサのシリアル番号、またSCIPのバージョンを問い合わせる。“PP”は、計測可能エリアや角度、角度分解能に有効ステップ数など、センサが持つ計測に関する固定パラメータを問い合わせる。ユーザは返信された情報を用いることで、SCIP 2.0に準拠するあらゆるレーザ式測域センサに対応したソフトウェアライブラリを比較的容易に

作成することができる。“II”はセンサが持つ計測に関する可変パラメータを問い合わせる。得られた情報によって計測モードや故障の場合はそのコードなど、センサの状態を知ることができる。

2.4.2 制御コマンド

計測開始を指示する“BM”を送信すると、センサはレーザを点灯して計測を開始する。ただし、そのままではデータは出力されない。“QT”によってレーザを消灯し計測を停止する。

“SS”はRS-232Cなどシリアル通信対応のセンサにおいて、そのビットレートを設定する際に用いる。

センサ間の相互光干渉のリスクを低減させるため、“CR”はモータの回転速度を微妙に変化させることができる。

“TM”はタイムスタンプ用センサ内タイマとホスト側のタイマを同期させるために用意されている。

最後に、“RS”によって、センサを起動時の状態に戻すことができる。

表1 SCIP 2.0のコマンドリスト

機能	コマンド符号
バージョン情報送信	VV
装置パラメータ送信	PP
ステータス情報送信	II
新規測定距離データ送信	MD
新規測定距離データ送信 (短距離限定表現)	MS
測定済み距離データ送信	GD
測定済み距離データ送信 (短距離限定表現)	GS
測距開始	BM
送信中止	QT
通信設定	SS
モータ指示	CR
時計合わせ	TM
リセット	RS

2.5 測距要求コマンド

2.5.1 “GD”・“GS”

“GD”と“GS”の各コマンドは、“BM”によって測距状態にあるセンサに対してその時点で最新の距離データを1度だけ返信することを求める。“GD”は18bit幅、“GS”は12bit幅で測距データを返答する。

(コマンド：ホスト→測域センサ)

コマンド符号(2byte)	パラメータ	文字列(最大16文字+‘;’)	L <sub>F</sub> (0ah) or C <sub>R</sub> (0dh) or C <sub>R</sub> L <sub>F</sub>
---------------	-------	-----------------	---

(応答：測域センサ→ホスト)

コマンド符号	パラメータ	文字列	L <sub>F</sub>	ステータス(2byte)	SUM(1byte)	L <sub>F</sub>	データ	SUM	L <sub>F</sub>	L <sub>F</sub>
--------	-------	-----	----------------	--------------	------------	----------------	-----	-----	----------------	----------------

図3 SCIP 2.0のコマンドと応答の形式

図4に本コマンドのフォーマットを示す。ここで、開始ステップと終了ステップとは距離データを必要とする角度方向の始点番号と終点番号であり、センサは求められたエリア内のみの距離データを出力する。精細な分解能が不要な時、指定したステップ数分を1ステップとして距離を要求するのがまとめるステップ数である。角度分解能を粗くする分、データの圧縮が可能となる。すなわち、ユーザはこれらのパラメータによって効率よく必要なだけのデータを取得することができる。

ステータスが“00”でない時とは、“BM”によって測距が開始されていない場合や、コマンド文中のパラメータが不正な場合にセンサが故障状態にある時などである。

### 2.3.2 “MD”・“MS”

“GD”と“GS”の各コマンドが測域センサはすでにレーザを点灯して測距していることを前提に距離を問い合わせるのに対し、“MD”と“MS”はレーザが常時非点灯であることを前提にそのコマンドによってレーザを点灯して測距を行いその結果を返答する。1回のコマンド発行に必要回数分の測距とそのデータ出力を行うと自動的にレーザを消灯し測距を停止させる。また、回数を指定せずに距離データを垂れ流しさせることも可能である。このコマンドは、多

くのセンサが同一の環境にある時など、無駄にレーザを点灯して他のセンサにノイズを与えるのを防ぐ使い方を提供する。

図5に本コマンドのフォーマットを示す。ここで、ユーザが本来のスキャンレートほど密な間隔でデータが必要ではない時、間引きスキャン数によって、何ステップおきに測距を行うかを設定できる。間引かれたスキャン中にはレーザは点灯せずデータ送信も行われぬ。また、送信回数で指定された回数の測距とデータ送信が行われればセンサは自動的にレーザを消灯し測距を停止する。なお、この送信回数を0に設定すると、センサは垂れ流しモードに入り、“RS”か“QT”が発行されるまで測距とデータ送信を続ける。

## 3. 反射光強度問い合わせコマンドの追加 ---SCIP 2.1---

### 3.1 SCIP 2.1 の概要

測域センサではレーザ光を走査しながら投光して、それに対する反射波を検出して測距を行う。したがって、受信される反射波には Time of Flight の情報のみではなく、反射物体で反射して戻ってきた光の強度の情報が含まれる。

(コマンド：ホスト→測域センサ)

‘G’(47h)	‘D’(44h) or ‘S’(53h)			
開始ステップ(4byte)	終了ステップ(4byte)	まとめるステップ数(2byte)	文字列	E <sub>L</sub>

(応答：測域センサ→ホスト)

N: 自然数, n: 1~64

‘G’	‘D’ or ‘S’	開始ステップ	終了ステップ	まとめるステップ数	文字列	L <sub>F</sub>
‘0’	‘0’	‘P’	L <sub>F</sub>	タイムスタンプ(4byte)	SUM(1byte)	L <sub>F</sub>
データブロック 1(64byte)		SUM(1byte)	L <sub>F</sub>			
.....		SUM(1byte)	L <sub>F</sub>			
データブロック N(nbyte)		SUM(1byte)	L <sub>F</sub>	L <sub>F</sub>		

図4 “GD”と“GS”のフォーマット

(コマンド：ホスト→測域センサ)

‘M’(4dh)	‘D’(44h) or ‘S’(53h)			
開始ステップ(4byte)	終了ステップ(4byte)	まとめるステップ数(2byte)		
間引きスキャン数(1byte)	送信回数(2byte)	文字列	E <sub>L</sub>	

(応答：測域センサ→ホスト)

N: 自然数, n: 1~64

‘M’	‘D’ or ‘S’	開始ステップ	終了ステップ	まとめるステップ数	間引きスキャン数	送信回数
文字列	L <sub>F</sub>	‘9’	‘9’	‘b’	L <sub>F</sub>	タイムスタンプ(4byte)
データブロック 1(64byte)		SUM(1byte)	L <sub>F</sub>			
.....		SUM(1byte)	L <sub>F</sub>			
データブロック N(nbyte)		SUM(1byte)	L <sub>F</sub>	L <sub>F</sub>		

図5 “MD”と“MS”のフォーマット

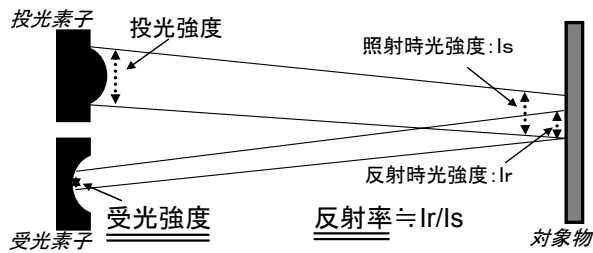


図6 受光強度と反射係数

この度、この情報について問い合わせるコマンドを新たに規定し、これを SCIP 2.0 に追加したものを SCIP 2.1 と呼ぶことにした。

### 3.2 対象物体の反射率計測コマンド: “MR”・“GR”

レーザ反射光の受光強度は投光量、伝搬時の減衰、反射物体表面における反射率(後方散乱係数)等が関係する。特に、数十 m 以下の中距離を測距する場合は、伝搬時の減衰は小さいと考えられ、反射波の受光強度は反射物体における反射率と、レーザ伝搬時のビーム拡散によって決定される。

レーザ光の投光ビームが受光系のビーム幅より小さい場合、拡散による受光量の減少は反射物体までの距離の2乗に反比例する。したがって、センサが受光量を計測できれば、測距データと組み合わせで反射物体での反射率を知ることができる。

“MR”と“GR”の各コマンドはこの反射率から求めた反射係数を問い合わせるコマンドであり、1 ステップ毎に距離(3byte)に加えて反射係数(2byte)のデータを出力する。ここで反射係数は 12bit で表され、下位 8bit が基準対象物とする白紙の反射係数を 256 とする。それより上位のビットが準備されているのは、再帰反射板や鏡面状態の物体など、標準的散乱体である白紙以上の後方散乱係数を与える物体が存在しうるからである。

ステップをまとめる場合は、そのうちで最短距離とそれに対応する強度データを出力する。また、“MR”のフォーマットは“MD”に準じ、“GR”のフォーマットは“GD”に準じる。これらは以下のコマンドでも同様である。

### 3.2 計測受光強度問い合わせコマンド: “ME”・“MI”・“GE”・“GI”

一般にセンサの内部で受光強度を定量的に求めるのは容易ではないので、物理的な定量性を求めないセンサ依存の受光強度を出力させるのがこれらのコマンドである。

“ME”と“GE”の各コマンドは 1 ステップ毎に距離(3byte)に加え受光強度(3byte)のデータを出力する。受光強度値は最大 18bit で表すものとする。

一方、“MI”・“GI”の各コマンドは 1 ステップ毎に距離(3byte)に加え受光強度(と付加情報)について 4byte(24bit)のデータを出力する。受光強度(と付加情報)としては測定された受光振幅と回路中の AGC パラメータなどの受光強度を知るのに有効なデータの集まりであってもよい。

## 4. まとめ

筆者らは、測域センサ用のコマンドインタフェースについて検討・設計を行い、これを公開してきた。本稿では、2006 年に設計した SCIP 2.0 の概要と、この度それを拡張した SCIP 2.1 について述べた。SCIP 2.0 では測域センサ用インタフェースプロトコルの初期バージョンの SCIP 1.0 と比べ大幅な機能強化が図られ、測距要求コマンドに「測距済みデータ出力」を要求するものと、「測距開始・データ出力」を要求する 2 種が用意されている。これによってユーザは状況に応じた無駄のない測距要求を行うことができる。

また、投光式測域センサで一般に測定することが可能な光強度データについての問い合わせコマンドを追加した SCIP 2.1 について述べた。これらのインタフェースプロトコルは既に北陽電機(株)によって同社の測域センサ URG シリーズに採用されている。

本インタフェースの詳細は、これをウェブページ上におくことを計画している。また、現在でも本論文の著者にリクエストいただければ文書で提供する体制となっている。

今後も SCIP-3D[5]などの制定なども進め、より使いやすい測域センサ用コマンドインタフェースについて議論を深め、提案していく予定である。

### 参考文献

- [1] 北陽電機(株) URL : <http://www.hokuyo-aut.co.jp/>
- [2] Hirohiko Kawata, Wagle Santosh, Toshihiro Mori, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Development of ultra-small lightweight optical range sensor system", Proceedings 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2005), pp.3277-3282 (Aug. 2005).
- [3] Hirohiko Kawata, Satofumi Kamimura, Akihisa Ohya, Jun'ich Iijima and Shin'ich Yuta: "Advanced Functions for "SOKUIKI" Sensor Applied to Mobile Robots", Proceedings of the IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems(MFI2006), TuC02.2, pp.414-419 (Sep. 2006).
- [4] 原祥堯, 川田浩彦, 大矢晃久, 油田信一: "測域センサの受光強度付きスキャンデータを用いた移動ロボットのための環境マップ構築", 第 12 回ロボティクスシンポジウム, 5A2, pp.480-485 (2007.3).
- [5] 油田信一, 梅田和昇, 飯島純一, 藤瀬弘樹, 桃井康行, 塚田敏彦, 西沢俊広, 村井亮介, 吉見卓, 林浩一郎, 嶋地直広, 吉田智章, 永谷圭司, 大野和則, 前山祥一, 大矢晃久, 川田浩彦, 原祥堯 (三次元測域センサコマンドシステム研究会): "使い易い三次元測域センサのインタフェースを目指して—コマンドシステム策定のための研究会活動—", 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集, 1P1-L01 (2007.5)