

超広帯域(UWB) 無線システムの開発

Development of Ultra Wideband Radio System for Short-Range Rader Applications

上村 和孝*
Kazutaka Kamimura

青柳 靖*²
Yasushi Aoyagi

松嶋 禎央*
Sadao Matsushima

糸原 洋行*
Hiroyuki Itohara

堀川 浩二*²
Kouji Horikawa

磯 洋一*
Yoichi Iso

概要 2002年2月14日の米国FCC (Federal Communications Commission) による規制緩和をきっかけとして、超広帯域(UWB: ultra wideband) 無線システムの検討が通信、ITS (intelligent transport systems) などの分野で盛んに行われている。我々は準ミリ波帯(24 GHz ~ 29 GHz)を用いる自動車用近接レーダ(SRR: short-range radar)に注目し、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)主催の共同研究コンソーシアムに参画するとともに、自社による研究開発を実施してきた。こうした共同研究、研究開発の成果として、測距にデータ変調を重畳することを特徴としたUWB通信・測距複合システムを開発することに成功した。本システムはベースバンド、RF部、アンテナ部から構成される。当社は測距・通信の鍵となるベースバンド部とRF部を開発した。本開発のベースバンド部はNICTに採用され、2005年12月のUWB国際会議(IWUWBT2005)にて動展示が行われた。本デモシステムでは、RF受信部についても当社が設計を担当し、RF送信部及びアンテナはNICTから供給されたデバイスを使用した。これらにより、データ変調方式としてPPM方式を採用し、1 Mbps程度のデータ通信を実現するとともに、測距機能としては、UWBレーダの時間分解能の性能を生かした距離分解能10 cm以下の検出機能を実現することができた。本稿では、UWB無線システムの概要・動向を報告に加え、社内で開発したベースバンド部とRF部の構成と測距機能評価結果、デモシステムにおける通信機能の評価結果について報告する。

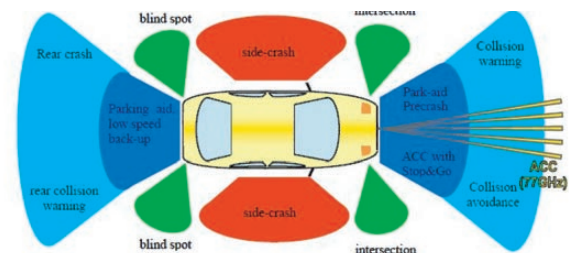
1. はじめに

UWB無線システムは、1つの無線局が数百MHz ~ 数GHzに亘る超広帯域な周波数バンドの電波を利用し、電子機器が発生する雑音レベル程度の微弱なインパルス信号で、通信、センシングなどを行うシステムである。インパルスの発生位置や、位相、振幅、周波数などに情報を変調することで通信として用いるだけでなく、レーダへの応用においては分解能数cm程度の高分解能レーダを実現することが可能である。近年、これらUWB無線システムの検討が盛んに行われている。特に、マイクロ波帯(3.1 ~ 10.6 GHz)を用いる超高速WPAN(wireless personal area network)、超低消費電力のセンサネットワークと、準ミリ波帯(22 ~ 29 GHz)及びミリ波(77 ~ 81 GHz)を用いた車載近接レーダとしての応用について多くの大学、企業が研究開発を行っている。

UWB車載近接レーダは、自動車事故や事故による死傷者低減を実現するための周辺監視のキーデバイスとして位置づけられる¹⁾。

特に、歩行者、死角に存在する車両などを広い角度で20 m以内の近距離を正確に検知するためのセンサとして期待されており、昨年末、欧州において世界初の量産車両への搭載がなされた²⁾。

22 GHz ~ 29 GHz SRRは、広帯域アンテナを備えた複数(例えば8台)のレーダを使用し、三角測量により半車体の位置を特定するのが一般的である。想定されるアプリケーションを図1に示す³⁾。なお、ACC(automatic cruising control)は、77 GHz帯の200 m程度まで検知する用途のレーダであり、SRRと併用される。



Short Range Radar – possible car applications

図1 24 GHz UWBレーダ機能
Application portfolio for 24 GHz UWB radars.

* 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

*² 研究開発本部 ファイテルフォトンクス研究所

主な機能としては、短距離自動追従走行 (ACC with stop & go) や駐車補助 (parking aid)、死角補助 (blind spot) などが挙げられる³⁾。

本稿では、標準化・法制化の動向、レーダを実現するための要素技術であるインパルスの生成、受信、検出などの項目について開発した内容を紹介し、通信と測距を同一システムで実現するためのデータ重畳方法、データ復調方式などについて説明する。最後に、これらの性能評価結果及びデモシステムについて報告する。

2. UWB無線システムの標準化・法制化の動向

2.1 ITU-R TG1/8

ITU-Rにおいて、UWBの国際的な標準化作業を目的として、2003年～2005年10月までの期間、TG1/8が設置された。

マイクロ波帯については、主に3.1～10.6 GHzを対象として審議がなされたが、他システムへの影響を考慮して許容放射レベルは米国の許容値よりも20 dB以上低い値が勧告された。しかし、各国あるいは地域において周波数の利用形態が異なるため、各国が独自に自らの主権に基づき国内のUWB規制を策定できるとすることが認められ、欧州、米国及び日本が提案したスペクトルマスクは参考資料として添付された⁴⁾。

準ミリ波帯域については、特に23.6～24 GHzに存在する発射禁止帯の取り扱いが議論の中心となっている。既に欧州、米国ともにスペクトルマスクを独自に許可しており、日本、中国、韓国などその他の地域は各国で独自に検討していくことになった。

2.2 米国の動向

米国の周波数割り当て状況を表1に示すが、その他の規制は以下のとおりである⁵⁾。

- (1) -10 dB の帯域幅は22 GHz～29 GHzの範囲内とする。
- (2) 23.6 GHz～24 GHz の発射禁止帯域の放射レベルを2005年、2010年、2015年ごとに低減させる。
- (3) 23.12～29 GHz (23.5 GHz～24 GHzを除く) で、周波数ホッピングや周波数ステップングを用いた方式が利用可能(ただし、ホッピング停止時でも10 MHz以上の-10 dB帯域幅を持つ、最大平均放射レベル、最大ピーク放射レベルは24.075 GHz以上、上記デバイスはエンジンがかかっている時のみ利用可能)とする。

表1 米国のスペクトルマスク
FCC spectrum mask.

Frequency in MHz	EIRP in dBm
960～1,610	-75.3
1,610～23,120	-61.3
23,120～23,600	-41.3
23,600～24,000	-61.3
24,000～29,000	-41.3

*EIRP (effective isotropic radiated power) 実効放射電力

2.3 欧州の動向

スペクトルマスクを図2示す。SRD bandは、車載レーダ用途に国際的に割り当てられている24.050 GHzから24.250 GHz

を示し、この帯域は広帯域拡散周波数帯とは別に、ドップラ計測等に用いられる。

EC委員会が2005年1月指令にて、24 GHz帯の自動車レーダへの2013年程度までの時限的利用と自動車レーダ用途以外の新規アプリケーションへの導入禁止を決定した。引継ぎ先の周波数帯域として、77～81 GHzが提案されている⁶⁾。

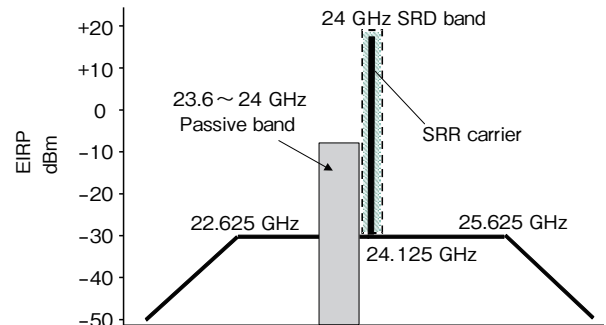


図2 欧州のスペクトルマスク
ETSI spectrum mask.

2.4 日本の動向

日本国内では、発射禁止帯での放射を避けるために、26.5 GHzなどの中心周波数を選定する提案があるが、法制化については今後の課題となっており、2006年3月に総務省によるヒヤリングが行われた⁷⁾。

3. UWB要素技術開発

本節では、レーダを実現するための要素技術である、インパルスの生成、受信、検出など項目について開発した内容を介绍する。

3.1 UWBパルス生成

従来、インパルス信号を生成する方法として、コンデンサやスイッチを用いた方法がよく知られている。また、特に通信用UWBに使用されるインパルス信号の生成に、発信器とオン/オフスイッチを用いることが多い。しかし、高速の開閉を行うには高価なスイッチ回路を必要とする。

近年、高速シリアル信号の生成手段として、LVDS (low voltage differential signaling) などの低電圧差動信号用いられている。その理由としては、低電圧化で高速信号生成の負荷を低減しデータの高速化を達成することが可能であり、また、信号を差動パルスとして取り扱うことにより耐ノイズ性を増強し、伝送路で信号に重畳するコモンモードノイズを低減する技術であることが挙げられる。LVDSを用いた場合には、1 Vの基準電圧に対し、振幅400～800 mV (800～1600 mVpp) の差動パルスを用いて、300 ps程度のパルス幅の信号を生成することができる。我々はLVDS信号の高速性、制御の容易性に着目し、LVDSを用いてUWBパルスを安定して発生させ、制御することとした。

図3にLVDS用いたインパルス生成方法を示す。差動パルスの正信号(P信号)のみを取り出し、DCブロック素子(例えばコンデンサ)を用いてLVDSの直流成分の電圧をカットする。これにより所望のインパルス信号が得られる。例えば、LVDS

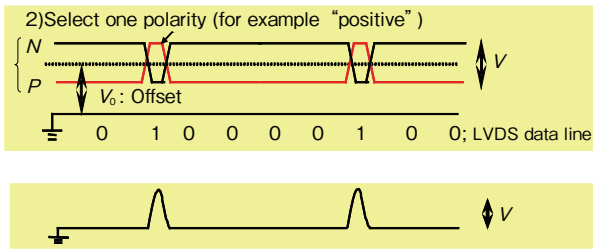


図3 LVDSによるインパルス生成
Impulse extraction from LVDS signal.

の信号伝送速度が3.125 Gbpsの場合、1ビットあたりの占有時間は320 psである。差動信号の場合、電圧 V_0 を中心に N と P の信号ラインで構成され、 $P-N>0$ の際に1を、 $P-N<0$ の際に0として伝送する。

データ列の0と1を適宜変更することで、任意の瞬間にパルスを発生させることができる。上記方法により、生成したインパルス波形例を図4及び図5に示す。

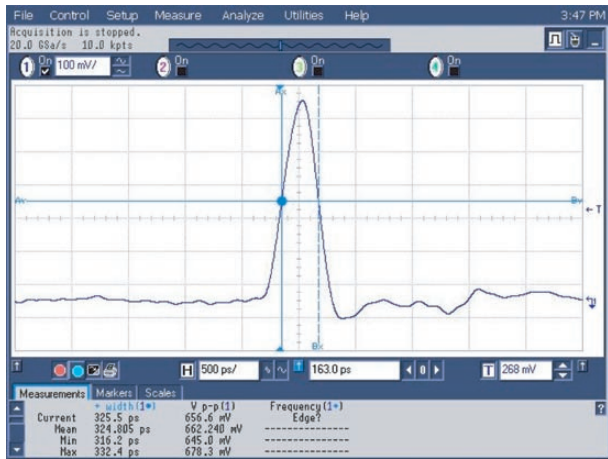


図4 インパルス時間軸波形例
Typical time domain signal.

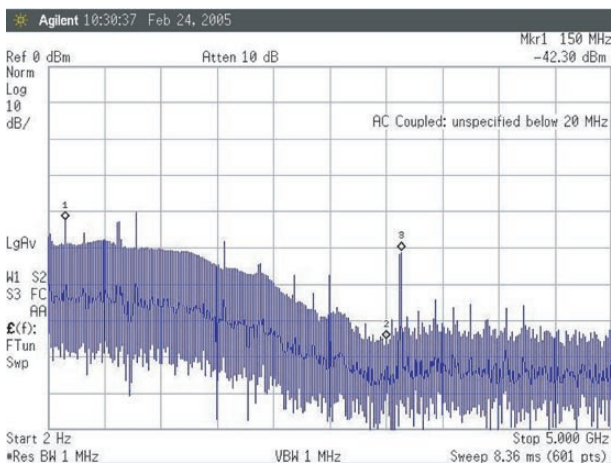


図5 インパルス周波数軸波形例
Typical frequency domain signal.

3.2 高周波回路

ダブルバランスミキサは高速・広帯域信号への応答に優れているため、UWBパルス信号に適している。しかし、LO (local oscillator)-RFアイソレーション特性が不足しているため、UWBパルスのような広帯域信号ではキャリアリークが問題と

なる。キャリアリークへの対策はいくつかの方式が考えられるが、今回我々はダブルバランスミキサとPLO (phase lock oscillator) の間に、RFスイッチを挿入することで、アイソレーション特性を補う方式を採用した。

準ミリ波帯、ミリ波では、伝送線路による損失が顕著なため、導波管を用いて回路が構成されることが多いが、回路が大型化してしまう。今回我々は、同軸部品を用いて回路を構成することとした。

3.2.1 RF送信部

図6 (a) にRF送信部のブロック図を示す。ベースバンド部で生成されたUWBパルス信号 (ベースバンド信号) はダブルバランスミキサにて、PLOから出力された局部発振波 (RF信号: 26.5 GHz) と混合され所望周波数のRFパルス信号 (RF信号) に変換する。RFパルス信号はBPF (帯域フィルタ) にて帯域制限された後、パワーアンプで所望の電力に増幅され、送信アンテナより放射される (無線免許の関係で、電波放射は行っていない)。

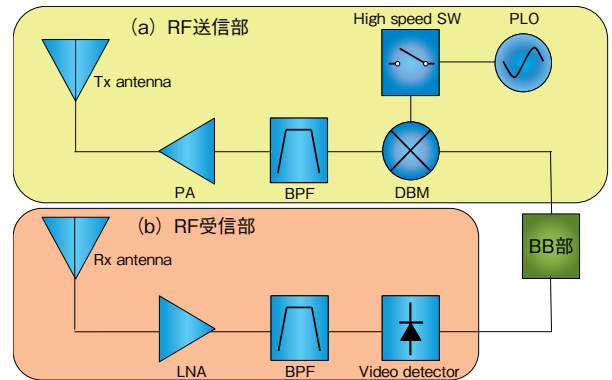


図6 RF部の回路ブロック図
Block diagram of RF sections.

3.2.2 RF受信部

図6 (b) にRF受信部のブロック図を示す。アンテナから入力された受信信号は、低雑音増幅器で増幅されたあと、I-Q復調器や、ミキサなどのデバイスでベースバンド帯域にダウンコンバートされるが、低コストを狙って、この処理を検波ダイオードにより実現することとした。基礎検討回路において、BPF (band pass filter) により帯域制限された後、検波器によってビデオ信号 (ベースバンド信号) に復調される。検波器に使用するダイオードによって検波特性が大きく変化するが、今回我々は検出感度とパルス応答特性の両面から、トンネルダイオードを用いた検波器を採用した。図7に検波したビデオ信号の一例を示す。

4. UWB測距・通信複合システム

本節では開発した複合システムについて説明する。本開発のレーダは、インパルス方式のUWBレーダであるが、パルスの発生位置で変調を行うPPM (pulse position modulation) 方式を用いることで、通信も同時に行うことが可能な複合システムである⁸⁾。尚、本節で説明するRF部は独自に開発したものであり、コンソーシアムのデモシステムのものとは異なる。

4.1 システムの概要

本システムの構成を図8及び図9に示す。また、今回開発し

た

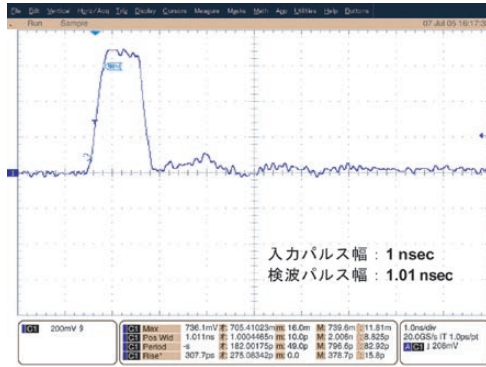


図7 検波したビデオ信号例
A typical video signal detected.

レーダの主要諸元を表2に示す。まず、一定繰り返し周期から変調するデータに応じたタイムスロット分だけ遅延したベースバンドインパルスが発生する。このインパルスをも26.5 GHzの搬送波でアップコンバートし、アンテナを介して送信する。

物体に反射してアンテナから得られる受信信号は低雑音増幅器(LNA)により増幅され、検波器(例えばダイオード検波器)に入力される。その出力を用いて測距と通信の復調処理は並列にそれぞれ測距回路、通信回路で行う。

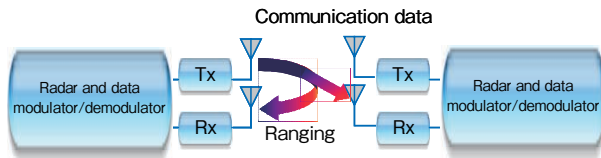


図8 通信測距複合システム
Block diagram of the communications and ranging systems.

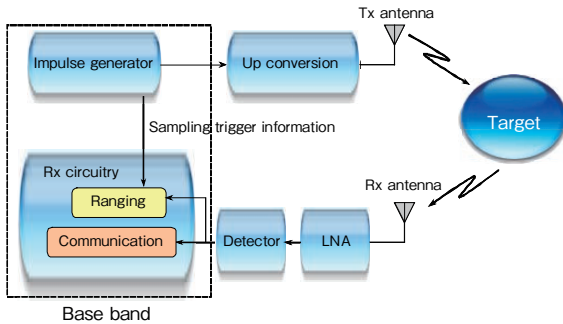


図9 システム構成図
Schematic diagram of multi-function radar.

表2 開発したレーダ装置の主要諸元
Performance specification of the developed radar device.

項目	仕様
パルス形状	ユニポーラ矩形パルス
パルス繰り返し周波数	1 MHz
パルス幅	1 ns
送信周波数	26.5 GHz
距離計測範囲	24 m
距離分解能	15 cm, 7.5 cm
通信変調方式	2値 PPM

4.2 ベースバンド部の開発

これまで説明してきたUWB複合システムを実現するためには、前節で紹介した要素技術に加え、信号処理機能を備えたベースバンド部を開発する必要があった。今回は、汎用性及び開発スピードを向上すべく、高機能FPGA(field programmable gate array)を用いた。その他、低速処理や、ユーザインタフェースとなる外部のパソコンとの通信のため、組み込み用CPUボードを搭載した。以下、ベースバンド部における送信回路、測距回路及び通信回路について説明する。

4.2.1 送信回路

送信回路の変調方式について説明する。基本周期を T とし、微小時間を $dT(<T)$ とする。変調するデータに応じて、周期 T 毎に送付する(=データ符号“0”)か、 dT だけ遅らせて送付する(=データ符号“1”)かを決定し送付する。

4.2.2 測距回路

ターゲットで反射したRFインパルス信号は、検波器によりダウンコンバートされ、ADCを用いてサンプリングする。通常のインパルスレーダにおいては、送信インパルスを基準として受信信号の時間遅延を測定することにより距離を算出するが、本システムではPPMによるデータ変調を行っているため、送信インパルス信号は等間隔に送信されている訳ではない。本測距回路では、データ変調に伴うインパルス送信タイミングの遅延(dT)を考慮して、パルス毎のPPMデータ変調の影響を除去する。なお振幅値は各距離ごとに平均化する機能を持ち、平均化回数は各距離ごとに設定可能である。所定のしきい値と蓄積された振幅値情報を比較し、しきい値を越えた距離には物体が存在するとする。また、上記測距結果から通信の相手となる受信機の距離を推定することも可能である。

4.2.3 通信回路(データ復調回路)

データ復調回路では、受信信号の検波出力をダイレクトに“H”、“L”の2値に判定される。判定は高速比較器(コンパレータ)により行うが、判定しきい値は可変とし、容易に変更が可能なものとした。図10にデータ復調の流れを示す。受信信号はコンパレータで2値化されるが、最初に“H”が出力されるのを待つ。続いて“H”が出力されるまでの時間をカウントし(T_{count})、基準時間(T)と比較し、以下の判定を行う：

$T_{count} < T$ の場合 復調データ = 0

$T_{count} > T$ の場合 復調データ = 1

$T_{count} = T$ の場合 復調データ = 前データ状態

なお、 $T_{count} > 2T$ の場合は、通信相手がいないものと判断し、カウントは中止し、次の“H”が検知されるのを待つ。データ復調を終了すると、周期カウンタ T をリセットして終了し、新たにカウントを始める。

5. 装置評価結果

本節では試作したシステムの評価結果を紹介する。前半は独自提案システムについての実験結果であり、後半はNICTコンソーシアムにおいて、実施した検討結果を紹介するものである。

5.1 レーダ機能実験結果

LVDSインパルスを用いて、レーダとしての性能を評価した。実際にアンテナから電波を出力することは出来ないため、3種類の同軸ケーブルを用意し、ターゲットからの反射信号を模擬

することとした。

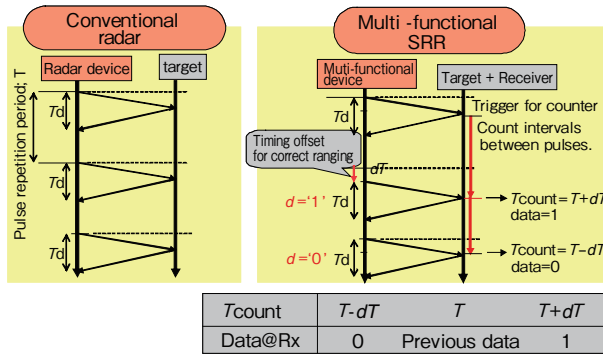


図10 データ復調フロー図
Flow chart of communication and ranging procedures.

同軸ケーブルの波長短縮率を0.7、距離分解能モードを15 cmとした時のターゲット検出距離結果を表3に示す。15 cm分解能の範囲内で測距できていることが検証された。

表3 ターゲット検出距離結果 (分解能 = 15 cm)
Target ranging results (resolution = 15 cm).

ケーブル長 (cm)	計測結果 (cm)
100	101.43
200	187.14
300	301.43

5.2 デモシステムによる通信・測距複合機能同時動作実験の結果

本システムはアンテナ部、送信部、受信部及びベースバンド部から構成される。ベースバンド部はこれまで説明してきた動作モードと、NICTコンソーシアムのデモシステムとしての動作モードが実装されている。なお、RF送信部及びアンテナ部についてはNICTから供給された物を使用し、ベースバンド部RF受信部を当社が設計し、これらを組合わせたシステムの動作が可能となっている。本デモシステムは、2005年12月のUWB国際会議 (IWUWBT2005) において動展示され、測距用のインパルス信号が、通信用のデータ信号としても利用可能なことを実証し、注目を得た。ここでは、実験結果としてデモシステムの動作を紹介する。

車で走行中に後方車へ、右折や左折、ブレーキやハザードなどの情報を、視覚的なランプによる手段にプラスして通信を用いて情報を伝送することで、運転手に対してより注意を喚起させるために必要な情報を想定し、データ情報として8 bitを用意した。また8 bitの各bitにそれぞれ情報を割り当てた。例えばブレーキの情報を伝送する場合は、1 bit目を'1'とする。また、この他にデータの同期を取るためにプリアンプルとして8 bitを使用し、前記各情報データの前に付加して、計16 bitのフレーム構成とした。

今回開発したレーダの制御用パソコンのGUIを図11に示す。画面中央部分において、各種パラメータの設定を行う。画面左上では、レーダの受信時間軸波形を表示する。その右の表では、最大20個のピークを検出し、その距離情報と強度情報を表示する。

また、画面下部で通信機能を確認できる。右半分では自転車情報を他車へ送信するときに設定する。左半分において、他車から受信して復調した情報が表示可能である。測距機能を損なうことなく、通信が出来ていることが確認された。

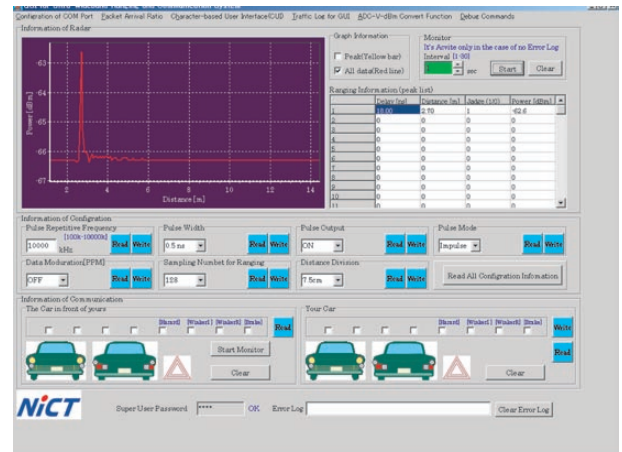


図11 測定結果GUI画面
GUI display of measurement results.



図12 UWB測距・通信同時デモ装置 (コンソーシアムで組上げたもの)
Demonstration model for UWB communication and ranging.

6. おわりに

UWB方式による22 GHz ~ 29 GHz 帯を用いる短距離車載レーダの開発を行った。レーダの測距機能を損なうことなく、同時に低速の通信が行えるUWBレーダ装置として世界初のシステムとなる。また、通信機能が付加されることで、より安全性能を向上できることが期待できる。

本開発装置のベースバンド部をNICTに納入した。2005年12月のUWB国際会議で日本発のUWB測距・通信同時デモに組込まれ、本展示は大きな注目を得た(図12)。今後は、装置の小型化及び低コスト化の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) "Commission enables cars to be equipped with road safety technology," eSafety Support, (2005).
- 2) "New Distronic Plus Helps in Stop-and-Go Traffic," Mercedes-Benz, News Release 2006, (2006).

- 3) Martin Kunert, Reiner Doerfler, Werner Hosp, and Christian Preis: "24 GHz UWB short range radars for vehicular applications," MWE2003, (2003), 110.
- 4) "超広帯域無線方式(UWB)の利用のための制度整備について," 総務省, (2005).
- 5) "SECOND REPORT AND ORDER AND SECOND MEMORANDUM OPINION AND ORDER," FCC, NEWS, (2004).
- 6) "ECC Decision of 12 November 2004 on the frequency bands to be designated for the temporary introduction of Automotive Short Range Radars," ECC/DEC/(04)10, (2004).
- 7) "情報通信審議会UWB無線システム委員会報告(案)に対し提出された意見の概要及びUWB無線システム委員会の考え方," 情報通信審議会, (2006).
- 8) Yasushi Aoyagi, Kazutaka Kamimura, and Ryuji Kohno: "UWB Multi-functional System for Communication and Ranging," IWUWBT2005, (2005), 87.