

デジタル・ナロー方式無線機の開発

Development of Digitalized Narrow-band Mobile Radio

酒井 常男	Tsuneo Sakai
筒井 浩一	Koichi Tsutsui
平林 勝次	Katsuji Hirabayashi
笹 隆司	Takashi Sasa
木谷 哲也	Tetsuya Kitani



デジタル・ナロー方式無線機

要 旨

近年、自営移動通信システムにおいて周波数が不足していること、データ伝送による多機能化の要求が強くなってきたことから、電波利用効率を高める技術の開発が求められていた。

当社無線機の主要納入先であるタクシー業界においても、特に首都圏で従来のアナログ方式では、別にデータ専用周波数が必要となるGPS-AVMシステム（自動配車システム）が免許されないため、デジタル・ナロー方式無線機の開発が切望されていた。

当社は、デジタル・ナロー方式無線機に関してタクシー用に適した仕様とするための技術開発を行ない、タクシー業界団体と共同で走行実験を実施して実用化の目処付けをし、この方式を標準規格化した。そして、他社に先駆けてタクシー用に適したGPS-AVM用デジタル・ナロー方式無線機を開発した。

本稿では、タクシー用に適した仕様とするために開発した技術と、今回開発したデジタル・ナロー方式無線機の製品概要を紹介する。

Abstract

In recent years, because of insufficient wave frequency in mobile communications systems and stronger needs for multifunctionality through data transmission, demand has grown for the development of technologies that can improve the efficiency of radio-wave usage.

A major customer for our company's radios, the taxi industry, particularly the taxi industry in the Tokyo area where conventional analog systems have been used, has also been longing for the development of a digitalized narrow-band mobile radio. This is because authorization has not been given to use GPS-AVM systems (automatic vehicle-dispatch systems), which require separate data-dedicated frequencies.

Our company conducted research and development aimed at creating specifications for digitalized narrow-band mobile radio for taxis. Together with taxi industry groups, we conducted test runs aimed at achieving practical application and succeeded in developing this system as a standard. We were also the first company to develop a GPS-AVM digitalized narrow-band mobile radio that is suitable for use in taxis.

This report will introduce the technology that was developed in order to achieve specifications that are suitable for taxis. It will also provide a product overview of the digitalized narrow-band mobile radio that we recently developed.

1

はじめに

近年、携帯電話などの公衆移動通信の普及は目ざましいものがある。一方、自治体や事業者が独自に無線システムを開設する自営移動通信分野においても、周波数の有効利用と多様な機能の実現のためにデジタル化の機運が高まっていた。

1998年に電気通信技術審議会の答申が行われ、自営移動通信分野ではユーザ毎の周波数帯域幅を狭くして有効利用を図ることが提案された。これを受け、1999年に総務省（当時、郵政省）が、デジタル・ナロー化の省令改正を行い、ARIB（Association of Radio Industries and Businesses：社団法人電波産業会）において標準が策定された。

当社は自営移動通信分野ではタクシー事業者向けにAVM（Automatic Vehicle Monitoring：自動車両管理）システムを提供し配車業務効率化の一翼を担ってきた。その中でもGPS（Global Positioning System：全地球測位システム）を使って車両位置を常に把握し、お客様位置に対して最適な配車を実現するGPS-AVMシステムはタクシー事業者には好評を博している。しかし、アナログ方式無線機を使った場合データ伝送専用の周波数が必要となるので、周波数資源が不足している首都圏では当システムが導入できない状況であった。

そこで当社は、GPS-AVMシステムに要求される機能をデジタル・ナロー化で実現するための技術を開発し、さらに、開発した技術を適用した無線機を用いて、実用目処を付ける走行実験を成功させた。これにより、先に制定されていたARIBの標準に「GPS-AVMシステムに適した規格」の追加を提案し、収録された。

今回、GPS-AVMシステム対応のデジタル無線機を発売するにあたり、その概要について以下に述べる。

2

GPS-AVMシステム

2.1 GPS-AVMシステムの概要

システムの構成例を図-1に示し、以下システムの概略動作を述べる。①②…は図-1中の番号に対応している。

- ①システム内の全ての車両は自車位置をGPSで把握する。決められた距離を移動した場合、無線回線を通して自車位置の情報を配車センタの車両位置情報データベースに送る。
- ②お客様から電話で注文がはいるとNTTのナンバーディスプレイで電話番号を配車センタのホストコンピュータに通知する。
- ③ホストコンピュータにお客様情報データベースを持っており、通知された電話番号からお客様情報を検索する。
- ④③のお客様情報と①で把握している車両位置情報とを比較して、お客様のいる位置に最も早く移動できる車両を検索する。
- ⑤検索した車両に対する配車情報（お客様の住所・名前・道順）を基地局に送る。
- ⑥指定された車両に対して、基地局から無線回線を通じて配車情報を送る。
- ⑦配車指示を受けた車両はお客様の迎車に向かう。
- ⑧なお、忘れ物問合せなどの非定型的な情報は音声で無線回線を通じて伝達する。

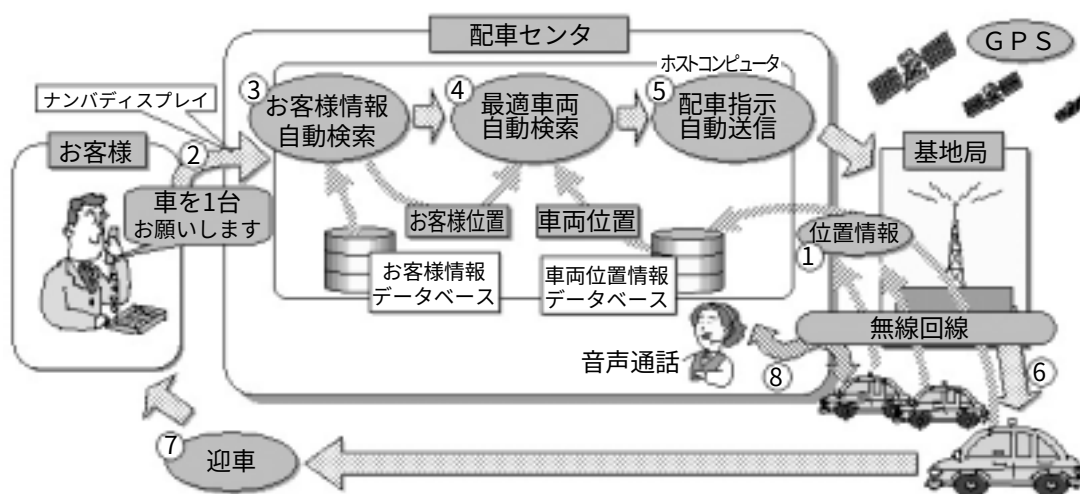


図-1 GPS-AVMシステム構成例

Fig.1 GPS-AVM system configuration (example)

2.2 デジタル・ナロー化の問題点

GPS-AVMシステムでは、無線回線を使って①車両の位置情報（車両→基地）、⑥配車指示情報（基地→車両）、⑧音声（車両←→基地）の3種の情報およびこれらの制御用信号を伝送する。しかし、アナログ（FM変調）方式の無線機や、従来ARIBで制定された規格ではこのGPS-AVMシステムを構成する上で次のような問題点があった。

- (1) 伝送効率が悪い。車両位置情報は情報量が少ないのでデータ長は短い（バースト送信）が、従来の規格ではバースト送信毎に伝送タイミング再生、送信歪改善などの目的に使用する時間が必要となり、この時間は情報を送れない。また、車両位置の把握精度を高くする目的で、送信頻度は多く設定されるので伝送効率はさらに悪くなり、システム全体の運用効率に大きく影響する。
- (2) バースト送信を始めとするデータ伝送により音声途切れて聞こえる。これを防止する制御を追加すると、音声でデータ伝送が停止され、音声送信後にまとめて送出されるので、トラフィックの集中を招き、正常に伝達されない。
- (3) 音声のサービスエリアが狭い。デジタル・ナロー方式は音声をデータとして伝送するので、アナログ方式に比べてサービスエリアが狭く、多くの基地局を設置する必要がある。

3

主要技術

これらの問題を解決した今回開発のデジタル・ナロー方式無線機の技術を以下に述べる。

この開発した成果は、ARIB内の無線機器メーカー10社で構成するサブワーキンググループで検討を加え、ARIB STD-T61 1.1版 付録1として制定された。¹⁾

3.1 少量多頻度のデータ伝送

図-2はデジタル・ナロー方式のバースト送信の信号フォーマット比較である。(a)は従来ARIBで制定された規格のフォーマットで、160bitの情報を送るのに384bit長が必要である（情報占有率42%）。(b)は当社開発技術を適用したフォーマットで、152bitの情報を送るのに(a)の1/2である192bit長で伝送できる（情報占有率79%）。

これにより、従来のデジタル・ナロー方式との比較では2倍の頻度で、当社アナログ方式システムとの比較では4倍の頻度で、車両から基地へ位置データを送ることができる。

従来技術からの改善は次の2点である。

- (1) 伝送タイミング再生用ビットの短縮

図-2のPを削除、Sを短縮

- (2) 送信歪補償トレーニング信号の削除

図-2のLPを削除

以下にその改善点、内容について述べる。

3.1.1 同期方式

図-2において、Pは受信した信号のタイミング（シンボルタイミング）を判定するために用いるプリアンブル信号で、通常ビット表現で1010や1001など数ビットの繰り返しパターンが規定される。Sは情報伝送の基本単位（フレーム）の位置（フレームタイミング）を判定するために用いるフレーム同期信号で、システム毎に特定のビットパターンが規定される。

表-1は(a)従来の同期技術と(b)今回開発した同期技術の比較である。従来の同期技術では、プリアンブル信号でシンボルタイミングを再生してから、フレーム同期信号でフレームタイミングをとる、という2段階を要した。今回開発した同期法はフレーム同期信号と受信信号の比較を評価値に変換することで、シンボルタイミングとフレームタイミングを同時に取得することを可能にした。

この同期技術の適用でプリアンブル信号を不要とし、フレーム同期信号も32bitから20bitに短縮できた。

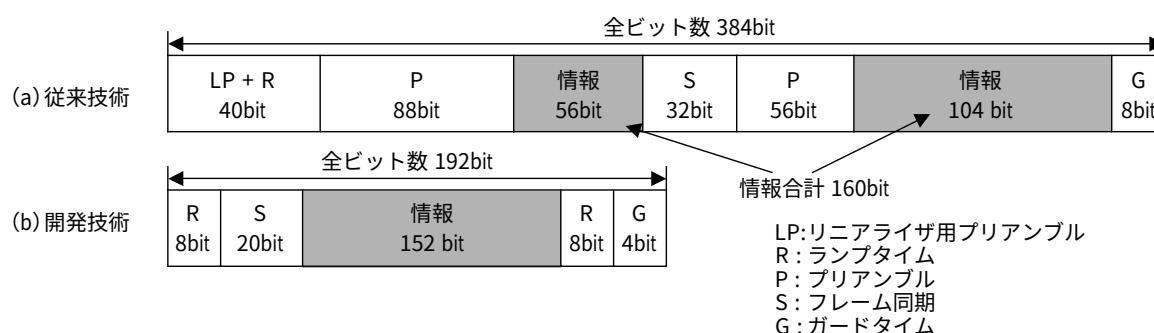


図-2 バースト送信信号のフォーマット
Fig.2 Burst transmission signal format

表-1 同期取得方式の比較

Table 1 Comparison of synchronous acquisition methods

比較項目	従来技術	今回開発した同期法
同期段階	2段階 (シンボル同期→フレーム同期)	1段階 (シンボル同期+フレーム同期)
同期用信号	2種 (プリアンプ, フレーム同期)	1種 (フレーム同期)

3.1.2 高直線性送信増幅器

図-2において、(a)のLPは高周波増幅器（以下、HPA:High-frequency Power Amplifier）の歪を補償するために用いるトレーニング信号（リニアライザプリアンプ）であり、(a)(b)のRは信号の立上り、立下りを整形することで、スペクトルの広がりを抑えるためのランプタイムである。Gは電波の伝搬遅延時間を調整するためのガードタイムで、複数の移動局から基地局へ到来する場合の時間差によって信号が重なることを防ぐものである。

また、デジタル・ナロー方式無線機の送信波に規定されるACPR^(注1)の規格は、帯域幅が狭いため厳しく、HPAには高い直線性が要求される。

図-3（1）は(a)従来の送信技術と(b)今回開発した送信技術の構成比較である。従来の送信技術ではHPAの直線性の不足で生じる歪を前述のLPで検出しフィードバックしてDSPで補償する構成をとっている。このLPに数10bitを費やしているため、伝送効率の低下を招いていた。

本開発では、このHPA回路のLD-MOS FETをプッシュプル構成とし、負帰還を施すことにより、回路だけで

ACPRの規格を満足できるものとした。特性の比較を図-3（2）に示す。

この高直線性を持つHPAの開発により、LPを削除でき、伝送効率の向上が図れた。また、検出回路の削除、補償処理の削減により、DSPをスペックダウンし、コストダウン効果も得ることができた。

3.2 音声／データ同時伝送

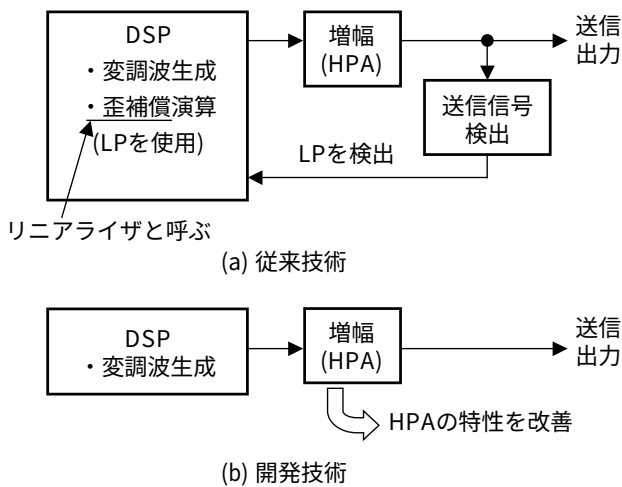
次に、2.2項（2）のデータ伝送により音声途切れという課題の解決法としては、音声とデータの同時伝送は非常に有効な方法であるが、デジタル・ナロー方式では一波あたりの伝送帯域幅が約5.8kHz（チャンネル間隔は6.25kHz）と狭く、3.3項で述べるサービスエリアの確保を考慮すると、9600bpsを超える伝送速度を確保することは難しいという問題がある。

上記の条件下で音声とデータの同時伝送を実現するために、次の技術を採用した。

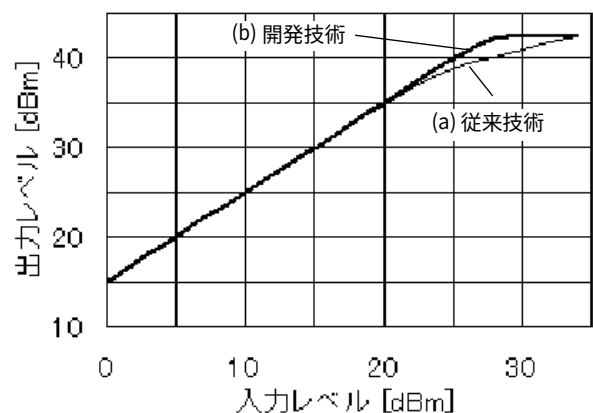
- (1) 高圧縮率の音声符号化方式の採用
- (2) フレームの循環ナンバリング

以下にその詳細を述べるが、以後、音声以外のデータは「非音声」という造語で表記する。

(注1) ACPR: Adjacent Channel leakage Power Ratio, 隣接チャンネル漏洩電力比。送信波の電力と、隣のチャンネルに漏れて輻射される電力との比を言う。



(1) 回路構成の比較



(2) 入出力特性の比較

図-3 送信部回路構成と入出力特性の比較

Fig.3 Comparisons of transmitter circuit configurations and input/output characteristics

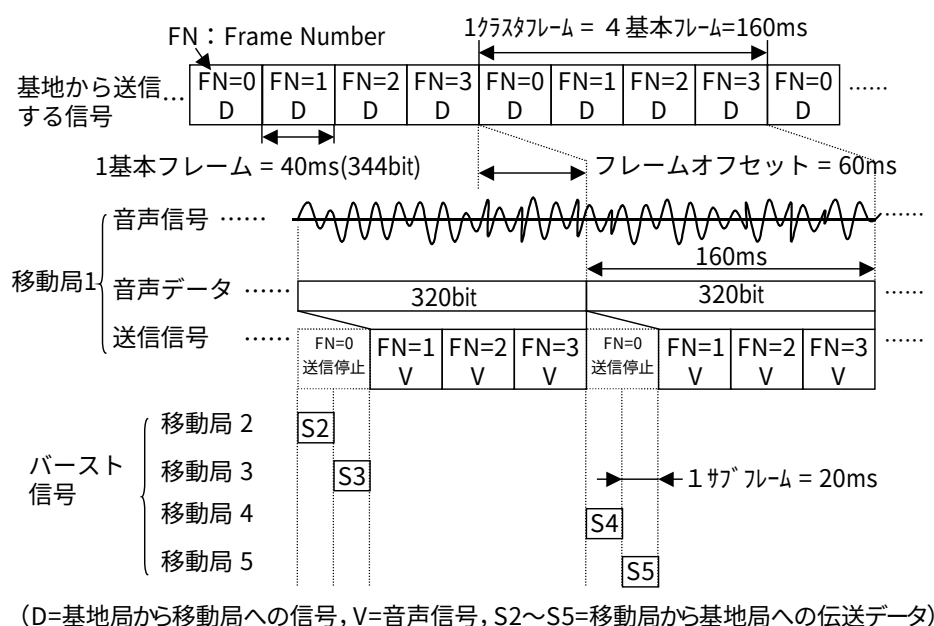


図-4 音声とデータを重畳するフレーム構成

Fig.4 Frame configuration with superposed audio and data

3.2.1 音声符号化方式 (AMBE)

デジタル・ナロー方式では音声信号を音声データとして送信し、受信側で音声データを音声信号に変換するが、音声品質だけではなく、高い圧縮率が要求される。

今回、音声圧縮方式^(注2)に米国DVI社の開発したAMBE (Advanced Multi-Band Excitation) 方式を採用した。AMBEは音声をわずか2000bpsの音声データで伝送できるだけでなく、音質も自然に近いためである。

3.2.2 フレーム構成

図-4は音声と非音声の同時伝送を実現するためのフレームの構成を示した図である。1基本フレームの長さは40msである。通常1基本フレーム分の音声データは1基本フレームを使って送信されるが、本開発では、4基本フレーム分の音声データを3基本フレームで送信し、空いた1基本フレームに非音声データを重畳する方式を開発した。

音声CODECにAMBEを採用して音声信号を2000bpsの音声データに変換すれば、4基本フレーム (160ms) の音声データは320bitになる。これを3基本フレームに割り振ると1基本フレームは約108bitになる。これに強力な誤り訂正符号を付加しても、1基本フレームで伝送できる伝送量 (344bit) に十分納まる。したがって、4基本フレームの音声を3基本フレームで送ることが可能になる。

次は音声データをどういうルールにしたがって各基本フレームに分配して受信先で元に戻すかが問題になる。そこで、4基本フレームを「クラスタフレーム」と定義し、クラスタフレーム内の各基本フレームに0,1,2,3の番号 (FN :

Frame Number) を循環的に割り当てる。基本フレーム送信時にはFNと音声／非音声の種別ビットを付加して送出する。

さらに、基地局の送信するフレームタイミングから60ms (フレームオフセット) 遅れたフレームタイミングで移動局が送信すること、音声はFN=1,2,3で伝送することを規定する。受信した側はFNと音声／非音声の種別ビットを使って、正確に元の音声と非音声を復元できる。

また、移動局から基地局に送るバースト信号には20ms長の「サブフレーム」を定義した。他の移動局が音声を送信していても、サブフレームを使って160msの間に2局分のデータを移動局から基地局に送信できる。

このように、基地局から移動局はもとより、異なった移動局で基地宛に音声と非音声を混在して送出することが可能になった。

(注2) 音声CODEC (コーデック:COding-DECodingの略) と呼ばれる。音声信号と圧縮された音声データの相互変換の方式。

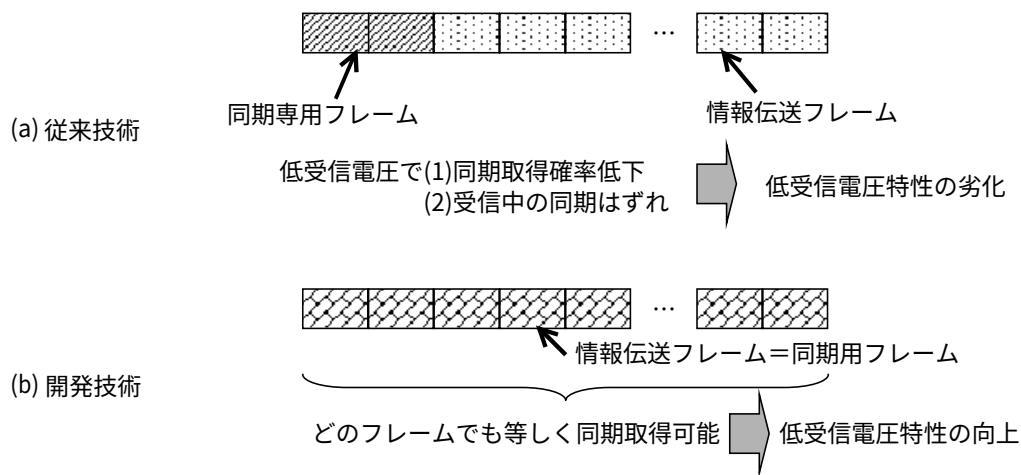


図-5 低受信電圧における同期取得特性の向上

Fig.5 Improvement of synchronous acquisition characteristics with low reception voltage

3.3 音声伝送エリアの確保

移動体通信では、通信路の品質がBER（Bit Error Rate：ビット誤り率）=10%に達することも珍しくなく、有線通信とは比較にならない程通信路品質が厳しい。BERの劣化が激しい移動体通信路の特質から、一般に、デジタル方式はアナログ方式に比べて音声の伝送エリアが狭く、多くの基地局の設置を必要とする。

本開発ではサービスエリアをできる限り広くとるため、アクセス方式は、受信感度確保に有利で1基地局のサービスエリアを広くとれるSCPC（Single Channel Per Carrier）を採用した。また、変調方式は他の方式と比べて伝送速度は遅いものの、フェージング耐力が強く、機器コストも有利な $\pi/4$ シフトQPSK方式を採用した。

さらに次の2点の技術改善により、アナログ方式と同等の音声通話エリアを確保できるシステムとした。

- (1) 誤り訂正性能の強化
- (2) 同期取得特性の向上

3.3.1 音声データ誤り訂正性能の強化

従来技術では、誤り訂正を付加したデータ長は送信する元データに対して約2倍の長さであった。今回、音声CODECにAMBEを採用し、送信音声データが少なくなった分を誤り訂正符号に割り付けて誤り訂正性能を強化することにより、サービスエリアを保つことが可能になった。誤り訂正符号には畳み込み符号を用いた。

3.3.2 同期取得特性の向上

図-5は(a)従来技術と(b)開発技術のフレーム構成の比較である。

従来技術の同期専用フレームには図-2(a)のフォーマットが使われる。3.1項で述べたように一部情報を重畳するも

の、ほとんどの部分を同期取得用として使用しており、情報を送るための情報伝送フレームはこれとは別のフォーマットが用意されている。

従来技術では、図-5(a)の同期専用フレーム受信時にフェージングで受信電圧が低下し同期取得できなかった場合、情報伝送フレームで同期取得することになる。しかし、情報伝送フレームは同期取得専用フレームで同期をとる場合よりも、同期取得のために高い受信電圧が必要になる。したがって、最初に同期取得を逃した場合、当然低受信電圧状態での受信特性は悪くなる。

本開発では3.1.1項で述べた高速同期法を適用する。高速同期法を使うと、全て情報伝送フレームであり、さらに同期用フレームとしても機能させることができる。図-5(b)のように、一連の伝送中のどの部分の受信電圧が落ち込んだとしても受信電圧が回復すれば即座に同期が取得できるため、受信特性は改善される。

3.4 走行実験

デジタルとアナログのサービスエリアが同等かどうかを実証するため、今回のデジタル・ナロー方式実験機と従来のアナログ方式無線機とを用い、2001年4月から6月にかけて東京都および埼玉県で同一コースを走行してデータを取得した。この結果、音声伝送ではアナログ方式と同等のサービスエリアであることを確認できた。^{2) 3)}

さらに、データ伝送機能の追加、音声通話品質の改善を施した試作機を用いて、2003年3月に東京都で走行実験を実施した。データ伝送を主眼に当社現行システムとデジタル・ナロー方式試作機の比較を実験で検証したが、当社アナログシステムに比べて広いエリアで実用的であることが確認できた。

4 デジタル・ナロー方式無線機の概要

開発したデジタル・ナロー方式無線機は、送信および受信回路からなるアナログ処理部と、変復調および制御を行うデジタル処理部とから構成されている。

表-2に本無線機の主な仕様を、図-6に本無線機の構成を示し、特長を述べる。

表-2 デジタル・ナロー方式無線機の仕様
Table 2 Specifications of digitalized narrow-band mobile radio

No	項目	仕様
1	送受信周波数	450～470MHz
2	アクセス方式	SCPC
3	通信方式	単信
4	変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
5	電波形式	5K80G1D,5K80G1E
6	総伝送速度	9600bps
7	音声符号化方式	AMBE(2000bps)
8	空中線電力	2W(平均,移動局)
9	最大帯域幅	3MHz(受信感度3dB低下)
10	空中線インピーダンス	50 Ω
11	チャンネル数	10
12	周波数間隔	6.25kHz
13	発振方式	水晶発振制御による シンセサイザ方式
14	受信方式	ダブルスーパーヘテロダイン方式
15	送信方式	ダブルコンバージョン方式
16	電源	DC13.8V(マイナス接地)
17	外形寸法	W150×H45×D140mm

4.1 周波数構成

デジタル・ナロー方式無線機には直交変調が用いられているが、直交変復調をアナログデバイスで実現する場合は、キャリアークの解消にノウハウと工数を必要とするだけでなく、ハードウェア構成でもDAコンバータ、ADコンバータ、フィルタが全て2系統必要になるので、コスト高になる。

そこで本無線機では直交変復調をDSP (Digital Signal Processor) の演算処理で実現した。周波数構成は、コスト面から高周波信号と直交変調前の信号を直接DSPで変換するダイレクトコンバージョン方式が理想的であるが、今回は、送信性能では隣接周波数への妨害特性、受信性能では隣接周波数信号からの選択特性の要求値を満足させるため、高周波を低い中間周波数に変換して演算処理する構成をとった。

4.2 アナログ処理部

中間周波信号と400MHz帯の高周波信号との変換のために、通常はローカル発振器を送受信それぞれ2つの発振器を持つ。今回、これら4つのローカル発振を一つの基準発振器を基に生成させることにより、小型化、コストダウンを図った。

また、送信部はDSPで生成した中間周波信号を2回周波数変換して400MHz帯高周波信号とした後、前述のHPAで所定の電力まで増幅する構成とした。そして、受信部は受信した400MHz帯高周波信号を2回周波数変換して中間周波信号とした後DSPに入力される構成とした。

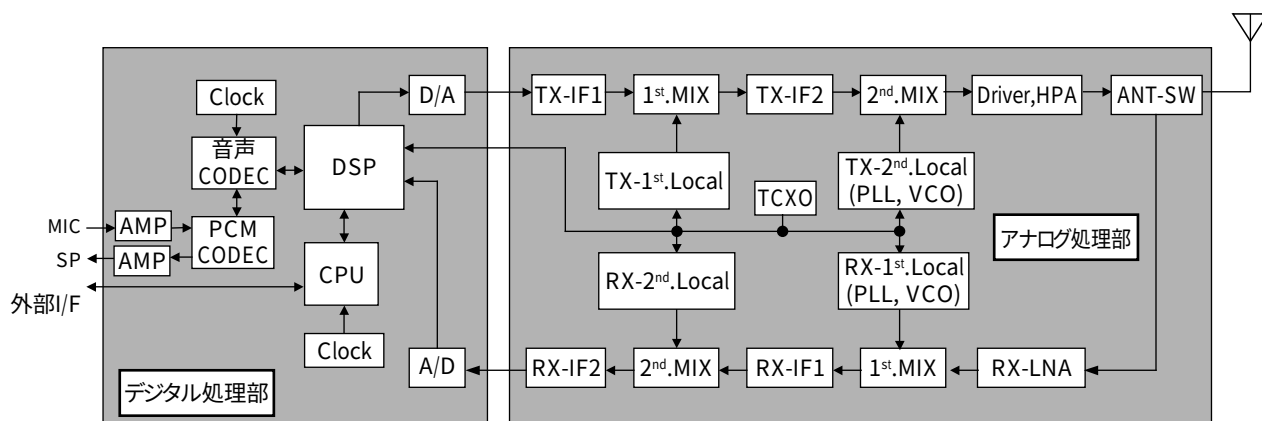


図-6 デジタル・ナロー方式無線機の構成
Fig.6 Configuration of digitalized narrow-band mobile radio

5

おわりに

以上のように、タクシーGPS-AVMシステムに最適なデジタル・ナロー方式無線機を開発した。これによって、タクシー事業者に従来のアナログ方式よりも、より効率的なシステムを提供できるようになった。

今後は、さらなるコストの低減や小型化、高機能化を進め、常にお客様の業務改善に貢献する製品を開発していきたい。また、タクシー業界以外にも開発成果を適用し、社会の発展に尽くす所存である。

参考文献

- 1) 社団法人電波産業会
「狭帯域デジタル通信方式（SCPC/FDMA）標準規格」
ARIB STD-T61 1.1版 第1分冊 付録1
2002年9月
- 2) 社団法人全国自動車無線連合会
「電波伝搬実験結果中間報告、タクシー無線デジタル化」
2001年8月
- 3) 社団法人関東自動車無線協会
「タクシー無線システムの高度化ビジョンPartIII」
（デジタルで次世代のタクシー無線システムを）
2001年8月

筆者紹介



酒井 常男
(さかい つねお)

1974年入社。以来、陸上移動通信機器の開発に従事。現在、事業本部 情報通信システム事業部 システム技術部に在籍。



筒井 浩一
(つつい こういち)

1983年入社。以来、陸上移動通信機器の開発に従事。現在、事業本部 情報通信システム事業部 システム技術部に在籍。



平林 勝次
(ひらばやし かつじ)

1986年入社。以来、陸上移動通信機器の開発に従事。現在、事業本部 情報通信システム事業部 システム技術部に在籍。



笹 隆司
(ささ たかし)

1992年入社。以来、陸上移動通信機器の開発に従事。現在、事業本部 情報通信システム事業部 システム技術部に在籍。



木谷 哲也
(きたに てつや)

1980年入社。以来、移動通信機器の開発に従事。現在、事業本部 情報通信システム事業部 システム技術部長。