

[特別講演]

低遅延デジタルラジオマイクの開発動向

濱住 啓之[†]

[†] 日本放送協会 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11
E-mail: [†] hamazumi.h-iu@nhk.or.jp

あらまし 放送、舞台、コンサートなどの業務用のラジオマイクは特定ラジオマイクと呼ばれ、現在、770～806MHzの周波数帯が利用されている。しかし、無線通信システムの急激な発達に伴って UHF 帯や 1.2GHz 帯の周波数への移行が求められている。筆者らは、移行先の新たな周波数帯においてラジオマイク信号を低遅延、高品質、かつ安定に伝送できる低遅延デジタル伝送方式を検討している。伝送方式には、情報レートやマルチパスへの耐性を考慮し、OFDM 変調を用いることとした。低遅延デジタル伝送方式の伝送特性を計算機シミュレーションし、4 ブランチ空間ダイバーシティ受信によって、伝送特性を大幅に改善できることを確認した。

キーワード ラジオマイク、低遅延、デジタル伝送、OFDM、ダイバーシティ

[Special Talk]

The Development Trend of a Low Delay Digital Wireless Microphone

Hiroyuki Hamazumi[†]

[†] NHK Science and Technology Research Laboratories 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan
E-mail: [†] hamazumi.h-iu@nhk.or.jp

Abstract Business-use radio microphones, such as used in broadcast, a stage, and a concert, are called as specified radio microphones, and the frequency band of 770 to 806 MHz is used. It is necessary to migrate to other reallocated frequency (UHF and 1.2 GHz) band with rapid development of radio communications systems, such as a mobile phone. We are studying low delay digital transmission for specified radio microphone that enables low delay, high-quality and stable transmission of radio microphone signals in the new reallocated frequency band. We use OFDM modulation in consideration for information rate and robustness for multipath. We conducted computer simulation of transmission characteristics of proposed low delay digital transmission, and confirmed that 4-branch diversity reception greatly improved transmission characteristics.

Keyword Radio microphone, Low delay, Digital transmission, OFDM, Diversity

1. はじめに

現在、放送、舞台、コンサートなどの業務用のラジオマイクは、特定ラジオマイクと呼ばれ 770～806MHz の周波数帯が利用されている [1]。

一方、無線通信システムの急激な発達に伴って、世界的規模で携帯電話等に対応する周波数帯の拡張が求められている。新たな電波利用システムの導入や周波数の需要増に対応するため、平成 16 年には総務省から「周波数再編アクションプラン」が公表され、周波数再編の検討が進められている。平成 23 年 9 月に見直された「周波数再編アクションプラン」 [2] においては、

770～806MHz 帯で使用されている特定ラジオマイクの移行先の周波数帯の候補を、地上テレビジョンの放送用周波数帯のホワイトスペース又は 1.2GHz 帯として周波数移行に向けた検討作業を実施することが記載された。これを受けて技術的条件の検討が行われ、平成 24 年 4 月には情報通信審議会から移行先周波数は 470～714MHz および 1240～1260MHz (1252～1253MHz は除く) 等とされる一部答申 [3] が行われている。

このような状況の下、筆者らは、移行先の新たな周波数帯においてもマイクの信号を低遅延、高品質、かつ安定に伝送できる低遅延デジタル伝送方式を検討し

ている[4]。移行先の周波数帯においては他業務との干渉を考慮する必要があり、耐干渉性にも優れた伝送方式の実現が期待されている。

本稿では、ラジオマイクの現状と音声の遅延の問題について解説するとともに特定ラジオマイク用低遅延デジタル伝送方式の概要を紹介する。

2. 特定ラジオマイクとは

特定ラジオマイクとは、放送や舞台、コンサートなど、業務用に用いているワイヤレスマイクである。779～806MHzの周波数帯を用いており、A型ラジオマイクとも呼ばれている。運用にあたっては無線局免許が必要であることに加え、特定ラジオマイク同士の混信を回避し安定に使用するため、特定ラジオ利用者連盟[5]に連絡をして運用調整を行なっている。これとは別に806～810MHzの周波数帯を利用する特定小電力のラジオマイク（無線局免許や運用調整が不要）と呼ばれるマイクもある。これはB型ラジオマイクとも呼ばれているが、これについては今回の周波数移行の対象とはなっていない。

現在、実用化されている特定ラジオマイクは周波数変調方式（FM）によるアナログ方式と、主に位相変調（QPSK）方式によるデジタル方式の2種類の方式がある[6]。アナログ方式の最大の特長は音声の遅延が殆ど無いことである。これに対してデジタル方式はデジタル圧縮を行っており3～5ms程度の遅延があるが、音質が良いこと、混信が少ないこと、アナログ方式よりも数多くのマイクを同時に利用できるなどの特長がある。

遅延が小さなデジタル方式のマイクはまだ存在しないので、デジタル方式の特長を生かしながら、できるだけ遅延を少なくした低遅延デジタル伝送方式による特定ラジオマイクの実現が期待されている。

3. 音声遅延について

遅延は音楽演奏に影響を与えていると言われている。近年、ミキシング卓の音声を演奏者の耳に送り返すイヤ

ーモニターが積極的に利用されるようになり、遅延に対する要求条件が厳しくなっている。演奏者は自分の声や楽器の音を骨伝導等も含めて生音を直接聞いており、生音とイヤーモニター等からの遅延した音が混じり合うと、演奏者が感じている音色に影響を与えられている。低遅延デジタルラジオマイクの開発に先立ってこの効果を確認するため、演奏時における音声モニターの遅延時間の検知限とその影響について評価が行われた。マイクとイヤーモニターを組み合わせたシステム全体の遅延量が3ms以内であれば概ね問題無いが、遅延量が5msを超えると8割の演奏者が遅延を知覚できるという結果になっている[7]。

実際の使用環境では図1に示すようにラジオマイク・ミキシング卓・イヤーモニターを組み合わせる使用とする。近年の音声ミキシング卓はデジタル方式が主流となっており、2～3ms程度の遅延がある。従って、ラジオマイクとイヤーモニターの遅延時間をそれぞれ1ms以下にできればシステム全体の遅延を5ms以下にできるので、演奏者への遅延の影響を軽減できると文献[7]で述べられている。

4. 低遅延化に向けて

(1) ITU-R 報告におけるデジタルワイヤレスマイクの要求条件

国際電気通信連合 ITU-R の Report BS.2161 (11/2009) [8]には、にデジタルワイヤレスマイクのための要求条件が記載されている。これによれば、スタジオ用のデジタルワイヤレスマイクの場合は遅延が1ms以下、音声帯域は20-20kHz、ダイナミックレンジ100dBが必要とされ、20ビット以上のリニアPCMで120dB以上が望ましいとされている。デジタルイヤーモニターについては、伝送遅延時間は1ms以下、音声帯域20-15kHz、ダイナミックレンジは95-100dBが必要とされている。

(2) 低遅延デジタル伝送の基礎検討[4]

低遅延伝送を実現するために、圧縮技術を用いず非圧縮で音声信号を伝送すると、情報レートは従来のデジタルラジオマイクの4倍以上になる。このため、周

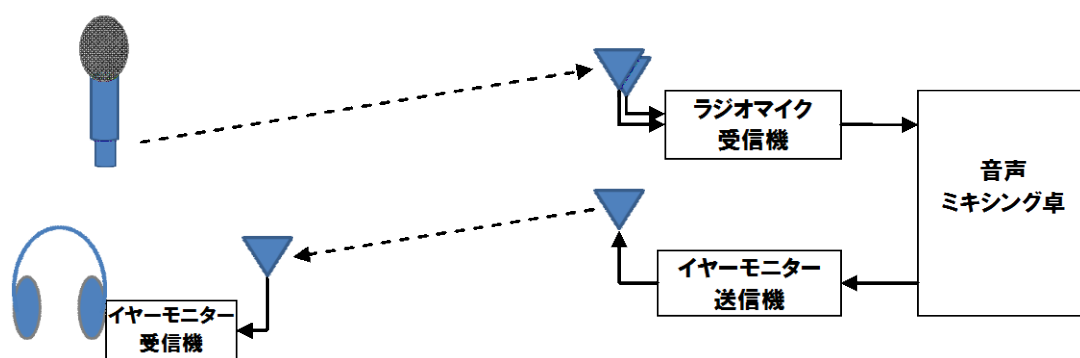


図1 ラジオマイクとイヤーモニター

波数を有効に利用できる多値変調(16QAM)と反射波などの妨害波に耐性のある OFDM 変調を組み合わせる手法の検討を行った。伝送パラメータを工夫することで遅延量の低減を目指した。まず、短い OFDM シンボル長(83.3 μ s)と、ビット単位の処理で符号長を短く設定できる誤り訂正符号(畳み込み符号,符号化率 2/3)を用いることでFFTや誤り訂正に要するバッファ時間を削減した。これらの OFDM シンボル長や誤り訂正符号の符号長を非圧縮音声信号のサンプル長の整数倍と

することで、信号処理時に生じるバッファ時間を最小限に抑えた。

遅延時間の設計値は送信側で 0.35ms (A/D 変換：0.1ms, OFDM 変調：0.25ms), 受信側で 0.6ms (OFDM 復調：0.4ms, D/A 変換：0.2ms) となった。伝送帯域幅が 625KHz の実験装置を試作して遅延時間を測定した結果、0.98ms (アナログ音声入力からアナログ音声出力) の遅延時間を達成し、遅延時間 1ms 級のデジタルラジオマイクが実現可能であることが分かった。

表 1 低遅延デジタルラジオマイクおよびイヤーマニターの伝送方式に要求される条件

項目	デジタルラジオマイク	デジタルイヤーマニター
音声信号の周波数特性	20 Hz ～ 20kHz	20 Hz ～ 15 kHz
音声信号のダイナミックレンジ	100 dB 以上 (120dB 以上が望ましい)	95dB 以上
音声信号の遅延時間	1 ms 以下 (小さいことが望ましい)	1ms 以下 (小さいことが望ましい)
伝送周波数帯域幅	600 KHz 以下	600 KHz 以下
伝送距離	100 m 以上	100 m 以上
モノラル／ステレオ	モノラル	ステレオ

表 2 低遅延デジタルラジオマイクおよびイヤーマニターの伝送方式案

モード		標準マイク	高耐干渉マイク	イヤーマニター	
情報源符号化	アナログ音声信号		モノラル	モノラル	ステレオ
	量子化ビット数		24 ビット	24 ビット	24 ビット, 2 系統
	サンプリング周波数		48 kHz		
	情報圧縮		非圧縮	瞬時圧伸	瞬時圧伸
	伝送情報ビット数		24 ビット	12 ビット	12 ビット, 2 系統
	情報レート		1152 kbps	576 kbps	1152 kbps
伝送路符号化	パリティ		CRC-2		
	誤り訂正符号, 符号化率		畳み込み符号, 2/3		
	一次 (キャリア) 変調		16QAM	QPSK	16QAM
	二次変調		OFDM		
	有効シンボル長		78.4 μs		
	シンボル長		83.3 μs		
	ガードインターバル		4.9 μs		
	キャリア間隔		12.75 KHz		
	キャリア数	総数	46		
		データ	39		
		SP	3		
		TMCC	3		
		CP	1		
	伝送帯域幅		586.5 KHz		
受信方法		最大 4 ブランチ 合成ダイバーシティ			

SP: Scattered Pilot, CP: Continual Pilot,

TMCC: Transmission and Multiplexing Configuration Control

(3) ETSI における伝送帯域幅

欧州の ETSI (European Telecommunications Standards Institute) の EN 300 422-1 V1.3.2 には 25 MHz ~ 3 GHz 帯までのワイヤレスマイクの特性測定に関して、伝送帯域幅が最大 600KHz まで定義されている。ワイヤレスマイクの送信周波数が 1GHz 以下の場合の伝送帯域幅の最大値は 200KHz とされ、ワイヤレスマイクの送信周波数が 1GHz 以上の場合の伝送帯域幅の最大値は 600KHz と記載されている。

5. 特定ラジオマイク用低遅延デジタル伝送方式

低遅延デジタル伝送方式に対する要求条件を表 1 に示す。要求条件に基づく低遅延デジタルラジオマイクおよびイヤーマニターの伝送方式案を表 2 に示す。

スタジオ環境において標準的な品質となっているサンプリング周波数 48KHz、24 ビット量子化の信号を非圧縮で伝送する場合、情報レートは 1,152kbps となる。音声信号 1 ワード (24 ビット) 単位で誤り検出を行う CRC 符号を付加する。誤り訂正符号、復号には遅延が少ない畳み込み符号化およびビタビ復号を用いる。

標準マイクのモードでは非圧縮の音声信号を 16QAM-OFDM により伝送する。また、高耐干渉マイクのモードでは、品質劣化を許容する代わりに瞬時圧伸 [9] と呼ばれる手法を用いて情報量を 1/2 に圧縮し、QPSK-OFDM を用いて伝送することで、標準モードよりも雑音や干渉に対する性能を高めている (所要 CN 比で 6dB)。さらに、イヤーマニターのモードでは瞬時圧伸により情報量を 1/2 に圧縮して 2 チャンネルのステレオ音声信号を伝送することとしている。

ここで瞬時圧伸とは、 μ 法則 [9] などの対数特性を近似した曲線を用いて音声の入出力振幅特性をデジタル的に操作し情報を圧縮するもので、アナログラジオマイクに使われているコンパンダと似た手法である。音質に多少の歪みに伴うものの少ない遅延で情報圧縮が実現できる手法である。

6. 計算機シミュレーションによる検証 [10]

低遅延デジタルラジオマイクおよびイヤーマニターの伝送方式案の有効性を確認するために計算機シミュレーションを行った。最大 4 本の受信アンテナ (4 ブランチ) を使用したダイバーシティ受信を行うことを想定した。ダイバーシティ受信の手法としては「選択」と「合成」が考えられるが、雑音やフェージングに対して優れた性能が得られることから「合成」を用いた。

(1) 白色ガウス雑音環境における伝送特性

標準マイク・イヤーマニター伝送モード (16QAM-OFDM) のガウス雑音環境における誤り率特性を図 2 に示す。ビット誤り率が 10^{-5} における受信 CN

比は 13.8dB (1 ブランチ)、10.8dB (2 ブランチ)、8.0dB (4 ブランチ) となった。高耐干渉マイク伝送モード (QPSK-OFDM) のガウス雑音環境にける誤り率特性を図 3 に示す。ビット誤り率が 10^{-5} における受信 CN 比は 7.5dB (1 ブランチ)、4.7dB (2 ブランチ)、2.0dB (4 ブランチ) となっている。合成ダイバーシティの採用によって、受信アンテナ数 (ブランチ数) が 1 本、2 本、4 本と増えることに伴い、受信 CN 比が約 3dB ずつ改善していくことが確認できる。

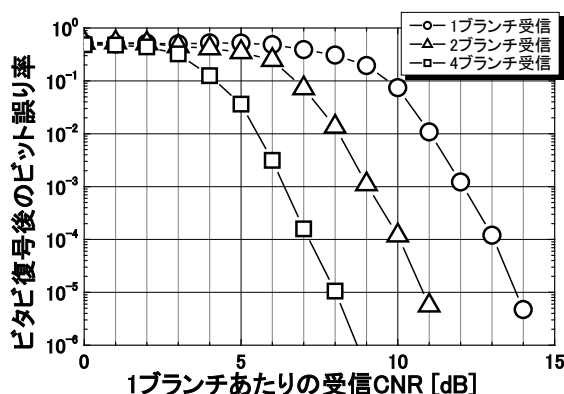


図 2 ガウス雑音環境における標準マイク・イヤーマニター伝送モード (16QAM-OFDM) の誤り率特性 (計算機シミュレーション)

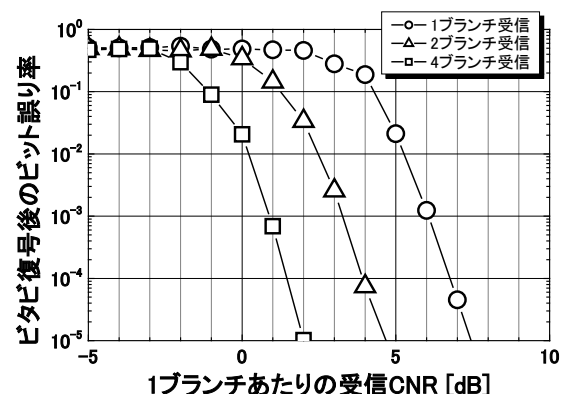


図 3 ガウス雑音環境における高耐干渉マイク伝送モード (QPSK-OFDM) の誤り率特性 (計算機シミュレーション)

(2) フェージングに対する伝送特性

次にラジオマイクの移動受信環境を模擬した 6 波レイリーフェージング環境でシミュレーションを行った。付加したマルチパスとその DU 比を表 8 に示す。最大ドップラー周波数は 20Hz とした。これは、1260MHz の送信周波数を用いるラジオマイクが時速 17Km/h で移動している状態に相当する。標準ラジオマイクおよびイヤーマニターを想定した移動受信特性を図 4 に、高耐干渉マイクを想定した移動受信特性を図 5 に示す。図 4 の標準マイク・イヤーマニター伝送モードでは、フェージング環境下で所要 CNR が 18.4dB (4 ブランチ受信) となり、図 5 の高耐干渉マイク伝送モードでは所要 CNR が 13.6dB (4 ブランチ受信) となることが確認できる。4 ブランチのダイバーシティ合成受信が、フェージング環境で特に有効であることが確認できた。

7. まとめ

移行先の周波数帯においてもラジオマイクやイヤーマニターの信号を低遅延、高品質、かつ安定に伝送できる低遅延デジタル伝送方式の開発に向けた取り組みとして、音声の遅延の問題や方式への要求条件を解説するとともに、低遅延デジタル伝送方式の概要と計算機シミュレーションの結果を紹介した。今後は、ハードウェアの試作と実験による性能検証を早急に進めて行く予定である。

文 献

- [1] 特定ラジオマイク利用者連盟監修：「ワイヤレスマイクハンドブック」, 兼六館出版
- [2] 総務省報道資料：「周波数再編アクションプラン」(平成 23 年 9 月改定版) の公表
- [3] 総務省報道資料：「特定ラジオマイクの周波数移行等に係る技術的条件」,(平成 24 年 4 月)
- [4] 中村円香, 岡野正寛, 居相直彦, 濱住啓之：「低遅延デジタルラジオマイクシステムの開発」, 映情学年次大会, 20-1 (2012)
- [5] 特定ラジオ利用者連盟ホームページ
<http://www.tokuraren.org/>
- [6] 電波産業会：「特定ラジオマイクの陸上移動局の無線設備」ARIB RCR STD-22
- [7] 亀川徹, 丸井淳史, 阿部健彦, 濱住啓之, 河内博司：「演奏時における音声モニターの遅延時間の検知限とその影響について」, 日本音楽知覚認知学会春季研究発表会, 5, pp.25-30(2012)
- [8] ITU-R:「Low delay audio coding for broadcasting applications」, Report BS.2161 (11/2009)
- [9] 二階堂誠也, 山崎芳男：「サウンドエンジニアのためのデジタルオーディオ」, 兼六館出版
- [10] 田口誠, 中村円香, 居相直彦, 岡野正寛, 濱住啓之：「特定ラジオマイク用低遅延デジタル伝送方式の検討」, 映情学技報, vol.36, No.51, BCT2012-101, pp.39-42 (Nov.2012)

表 3 シミュレーションに使用したマルチパス

パス番号	遅延時間[ns]	DUR [dB]
1	0	0
2	100	-7.5
3	200	-15
4	300	-22.5
5	400	-30
6	500	-37.5

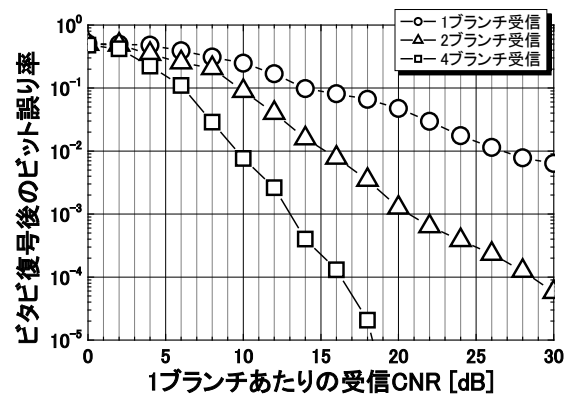


図 4 レイリーフェージング環境における標準マイク・イヤーマニター伝送モード (16QAM-OFDM) の誤り率特性 (計算機シミュレーション)

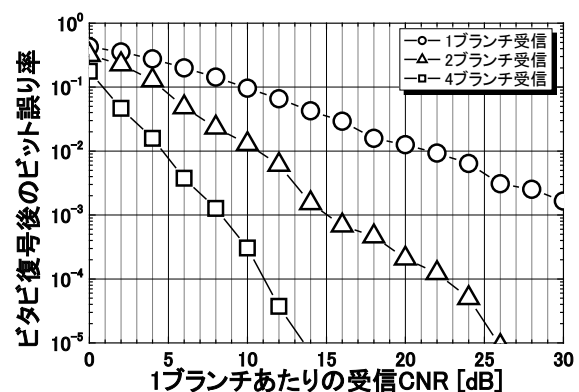


図 5 レイリーフェージング環境における高耐干渉マイク伝送モード (QPSK-OFDM) の誤り率特性 (計算機シミュレーション)