

周波数利用効率に関する アンケート結果

アンケート結果による周波数利用効率一覧

第4世代移動通信システム

方式	番号	周波数利用効率	備考
第4世代移動通信システム	1-4	DL 10 bps / Hz UL 2.5 bps / Hz 以上	最大スループット
	1-6	DL 10 bps / Hz	最大スループット

第3世代携帯電話及び第3世代携帯電話の高度化システム

方式	番号	周波数利用効率	備考
WCDMA Evolved UTRA / UTRAN	1-4	DL 5 bps / Hz UL 2.5 bps / Hz	最大スループット
	1-7	DL 5 bit / Hz	最大スループット
WCDMA HSDPA / HSUPA	1-2	DL 1.0 – 1.7 bit / Hz	
	1-7	DL 5 bit / Hz	最大スループット
	1-10	5 bit / Hz	最大スループット
CDMA 2000 1x / ED-VO	1-2	DL 1.125 bit / Hz UL 0.375 bit / Hz DL broadcast 0.9 – 1.35 bit / Hz	平均スループット
MC-CDMA	1-8	10 bit / Hz	最大スループット
TD-CDMA	1-9	2-2 1.59 bit / Hz	
		4-4 3.79 bit / Hz	

その他のワイヤレスブロードバンドシステムで、一定のモビリティを有するシステム

方式	番号	周波数利用効率	備考
IEEE 802.16e (WiMAX)	2-1	0.1 bit / Hz	
	2-3	3 bit / Hz	
	2-5	3 bit / Hz	
	2-6	0.64 bit / Hz	奏モデル
	2-7	5 bit / Hz	最大スループット
	2-8	3 bit / Hz	実環境では不明
	2-11	3.8 bit / Hz	
	2-12	3.8 bit / Hz	
	2-13	1.9 bit / Hz	平均スループット
	2-14	DL 2.22 bit / Hz UL 1.70 bit / Hz	平均スループット
	2-15	3.75 bit / Hz	平均スループット
	2-17	0.75 – 1.4 bit / Hz	平均スループット
	2-20	2.4 bit / Hz	最大スループット
IEEE 802.20 (Flash OFDM)	1-1	3 bit / Hz	D L 時の最大
	2-4	4.5 bit / Hz	D L 時の最大
	2-10	4.5 bit / Hz	
IEEE 802.20 (iBurst)			
高度化 P H S	2-16	3.6 bit / Hz	

提案システム番号	<u>1 - 2</u>	提案システム名	<u>WCDMA 拡張マルチキャリアシステム</u>
提案システム番号	<u>1 - 3</u>	提案システム名	<u>cdma2000 拡張マルチキャリアシステム</u>

マルチキャリア拡張 WCDMA とマルチキャリア拡張 cdma2000 の
周波数利用効率に関する考察（暫定版）

2005 年 7 月 15 日
クアルコムジャパン株式会社

弊社から提案いたしました：

- マルチキャリア拡張 WCDMA (提案番号 1-2)
- マルチキャリア拡張 cdma2000 (提案番号 1-3)

に関し、周波数利用効率の暫定検討結果を示します。

1. マルチキャリア拡張 WCDMA の周波数利用効率

Downlink : 1.0 - 1.7 bps/Hz
Uplink : TBD
Downlink-Broadcast : TBD

Downlink スループット特性[1]と周波数利用効率を以下に示します。これらの数値から種々の環境条件のユーザが混在したと仮定した場合の周波数利用効率は、ほぼ 1.0 - 1.7 の範囲に収まると推定できます。

Channel Model	MC No RxDiv (Mbps)	MC (No RxDiv)周波 数利用効率 (20MHz)	MC Dual RxDiv (Mbps)	MC (Dual RxDiv)周波 数利用効率 (20MHz)
PA3	27.39	1.369	34.81	1.7405
PB3	20.10	1.005	30.74	1.537
VA30	10.84	0.542	19.50	0.975
VA120	10.04	0.502	18.61	0.930

PA3:Pedstrian-A 3km/h Model; PB3:Pedstrian-B 3km/h Model;

VA30:Vehicular-A 30km/h model; VA120: Vehicular-B 120km/h model.

[1]3GPP R1-050498 “System Level Performance of MC-HSDPA with Enhanced Receivers and Multiple Receive Antennas – Full Buffer”

2. マルチキャリア拡張 cdma2000 (提案番号 1-3) の周波数利用効率

”3GPP2 Evaluation Methodology”に基づく、種々の環境条件のユーザが混在した場合の平

均的な周波数利用効率の暫定推定値は以下です：

Downlink	1.125 bps/Hz
Uplink	0.375 bps/Hz
Downlink-Broadcast	0.9 – 1.35 bps/Hz

以下その条件を示します。

この提案のベースとなる方式は 1xEV-DO Rev.A で、その周波数利用効率は以下です：

Downlink

- 平均値(*1) : $1.5\text{Mbps}/1.25\text{Mhz} = 1.2 \text{ bps/Hz}$
- 最大値 : $3.07\text{Mbps}/1.25\text{MHz} = 2.456 \text{ bps/Hz}$

Uplink

- 平均値(*1) : $500\text{kbps}/1.25\text{Mhz} = 0.4 \text{ bps/Hz}$
- 最大値 : $1.8\text{Mbps}/1.25\text{MHz} = 1.44 \text{ bps/Hz}$

Downlink-Broadcast: $1.2\text{Mbps}-1.8\text{Mbps}/1.25\text{MHz}$

(*1) "3GPP2 Evaluation Methodology" (= 19-cell, 57-sector; 5-channel models with various fading velocities and multipath) に基づくシミュレーション。FL equalizer, Dual antenna receiver; proportional fair scheduler 適用。16 ユーザ / セクタ。

20MHz で運用する場合には、15 キャリアを使用するので、単純計算による暫定値は以下となります：

Downlink

- 平均値 : $22.5\text{Mbps}/20\text{Mhz} = 1.125 \text{ bps/Hz}$
- 最大値 : $46.05\text{Mbps}/20\text{MHz} = 2.3025 \text{ bps/Hz}$

Uplink

- 平均値 : $7.5\text{Mbps}/20\text{Mhz} = 0.375 \text{ bps/Hz}$
- 最大値 : $27\text{Mbps}/20\text{MHz} = 1.35 \text{ bps/Hz}$

Downlink-Broadcast

$18\text{Mbps} - 27\text{Mbps} / 20\text{MHz} = 0.9 - 1.35 \text{ bps/Hz}$

以上。

周波数効率の根拠

【提案システム：1 - 4 次世代移動通信システム (3G LTE 及び4G)】

[3G LTE]

GPP RAN LTE (Long Term Evolution) に関する要求条件のレポート ,
3GPP TR 25.913 V2.1.0 (2005-05)

Requirements for Evolved UTRA and UTRAN (Release 7)

の 6.1 章を参照した。

6.1 Peak Data Rate

E-UTRA should support significantly increased instantaneous peak data rates. The supported peak data rate should scale according to size of the spectrum allocation.

Note that the peak data rates may depend on the numbers of transmit and receive antennas at the UE. The targets for downlink (DL) and uplink (UL) peak data rates are specified in terms of a reference UE configuration comprising:

- a) Downlink capability – 2 receive antennas at UE
- b) Uplink capability – 1 transmit antenna at UE

For this baseline configuration, the system should support an instantaneous downlink peak data rate of 100Mb/s within a 20 MHz downlink spectrum allocation (5 bps/Hz) and an instantaneous uplink peak data rate of 50Mb/s (2.5 bps/Hz) within a 20MHz uplink spectrum allocation. The peak data rates should then scale linearly with the size of the spectrum allocation.

In case of spectrum shared between downlink and uplink transmission, E-UTRA does not need to support the above instantaneous peak data rates simultaneously.

[4G]

下りリンクについては、2005年6月23日の報道「ドコモ、4G向け屋外実験で1Gbps通信に成功」を参照した。

< 抜粋 >

無線アクセス方式として「VSF-Spread OFDM」を適用したことに加え、「MIMO 多重」技術においてはドコモが独自に開発した信号分離技術を適用することにより、100MHzの周波数帯域幅を用いて、1Gbit/sのリアルタイムパケット信号伝送を実現できることが実証できました。周波数利用の効率を示す指標である周波数利用効率は、10ビット/秒/Hzとなります。

上りリンクについては、3G LTE (2.5bps/Hz) と同等以上とした。

以上

周波数効率の根拠 (NEC)

2007 年以降の周波数効率

W-CDMA HSDPA/HSUPA (5MHz 帯域) を例にとると、商用システムの最大レートは、下り 7.6Mbps ~ 10Mbps、上り 5Mbps 程度と想定されるため、周波数効率の最大値は、それぞれ下り 1.5 ~ 2 bps/Hz、上り 1bps/Hz 程度。しかし、セル全体での平均レートは、屋外実験等により下り 2 ~ 3 Mbps とされており、所用周波数幅算出への利用により適した平均レートでの周波数効率は、およそ 0.5bps/Hz が妥当と考える。

2010 年以降の周波数効率

3GPP Evolved UTRA の要求条件規定(TR25.913、v2.0.0)によれば、最大レートは、20MHz 帯域時に下り 100Mbps、上り 50Mbps とされており、最大レートでの周波数効率は、それぞれ下り 5bps/Hz、上り 2.5Mbps/Hz となる。2007 年以降の最大レートによる周波数効率と比べ、2.5 倍に相当する。

セル全体での平均レートに関しては、第 4 世代移動通信システムは、総務省情報通信審議会の答申「新世代移動通信システムの将来展望」によれば、2010 までの効率は第 3 世代移動通信システムの 1.1 倍、2015 年時点の効率は 1.5 倍と予測されている。平均レートでの周波数効率向上は、最大レートでの周波数効率向上よりも技術的困難性は高く、最大レートによる周波数効率の向上値 2.5 倍と比較して、平均レートによる周波数効率の向上値予測 1.5 倍は妥当と考える。したがって、2010 年以降の平均レートによる周波数効率としては、 $0.5\text{bps/Hz} \times 1.5 = 0.75\text{bps/Hz}$ と算出できる。

TD-CDMA 周波数利用効率算出の前提条件

平成 17 年 7 月 15 日
アイピーモバイル株式会社

Carrier Frequency	2 GHz
TTI length	10 ms
Burst Type	2
Modulation	QPSK and 16-QAM
Spreading Factor	16
Number of multi-codes	16
HS-DSCH structure	all codes used over 8 consecutive time slots
Channel Coding	Turbo coding, $R = 1/3, 1/2$ and $3/4$. Log-MAP decoding using 4 iterations.
Channel Model	Spatial Channel Model, Case III (based on Ped-B) 3GPP TR 25.996 [1]
UE Speed	3 km/h
Channel Estimation	Perfect
Detection	Linear MMSE
PARC Feedback Delay	4 timeslots
Target BLER	10%
Cell Radius	1 km
Sectors per Cell	3
UE Distribution	Uniform
Thermal Noise Density	-174 dBm/Hz
In Building Loss	13.5 dB
Shadow Fading Std	10 dB
Node B Transmit Power	34 dBm
Antenna Gain and Cable Loss	16 dBi
Antenna Front to Back Ratio	30 dB
UE Antenna Gain	2 dBi
Receiver Noise Figure	5 dB

以上

提案システムの周波数効率

提案システム番号 1 - 10 提案システム名 Evolved WCDMA/HSDPA/HSUPA (Super3G)

3 GPP における Evolved WCDMA/HSDPA/HSUPA 標準化作業は Study Item が始まったばかりであり、Feasibility Study は 2007 年 2Q までに終了する予定である。よって、現在の作業中の文書を元に 3GPP での過去の検討結果を反映し、周波数利用効率を概算した。

アクセス方式	OFDMA [1]
チャンネル帯域幅	20MHz [1]
サブフレーム長	0.5msec [1]
FFT size	2048 [1]
有効サブキャリア数	1201 [1]
サブフレーム内 OFDM シンボル数	7 [1]
データ変調	64QAM [1]
符号化率	5/6
MIMO 送信アンテナ数	2 [2]
最大伝送速度	167Mbps
Pilot symbol の挿入損失	8% [3]参考
制御チャンネルによる損失	15% [3]参考
スケジューリングロス、セル間干渉など	20% [4]
周波数繰り返し比率	1
データ伝送速度	104Mbps
周波数利用効率	約 5 bits/s/Hz

参考資料：

[1] 3GPP TR25.814 v0.1.1

[2] 3GPP TR25.913 v7.0.0

[3] 3GPP TR25.892 v6.0.0

[4] J.P. Castro, "All IP in 3G CDMA Networks, "John & Wiley

<周波数効率に関する考察>

平成 16 年情報通信審議会 情報通信技術分科会 5GHz 帯無線アクセスシステム委員会報告の参考資料を参考に試算。

別紙 周波数利用効率

フラッシュ OFDM の周波数利用効率は以下のとおり。

- 1 セクターあたりの周波数利用効率は実測で約 1.5 bit/Hz. (干渉を考慮)
 - 3 セクターで 1 セルを構成するため、周波数利用効率は 4.5bit/Hz となる。
- 周波数の再利用： N=1

以上

提案システムの周波数利用効率算出根拠

(株)日立製作所

【算出条件】

方式として IEEE802.16e システムを仮定し、システムに関連する条件は IEEE802.16e の標準化において議論されている System Profiles などを参考に設定、また伝搬路モデルやセル配置の条件は秦モデルを 2GHz 帯まで拡張した PCS 拡張秦モデルを適用した（詳細は下表参照）。

項目	条件
サブキャリア数	2048 （内、データサブキャリア数=1536 の場合を仮定）
Guard Interval	1/8
周波数帯	2GHz
帯域幅	20MHz
動作モード	(a) QPSK, rate=1/2 (b) QPSK, rate=3/4 (c) 16QAM, rate=1/2 (d) 16QAM, rate=3/4
セルの Reuse Factor	1 （セル数=91）
伝搬モデル	PCS 拡張秦モデル（大都市中心部を適用）
セル半径	500m
アンテナ高	基地局 = 30m、端末=1.5m
熱雑音	- 174dBm/Hz
Noise Figure	4dB

【算出結果】

上記条件の下、他セルからの干渉などを元にセル内の SINR 分布を計算すると

- QPSK, rate=1/2 （周波数利用効率=1）での通信可能エリア=14.2%
- QPSK, rate=3/4 （周波数利用効率=1.5）での通信可能エリア=11.3%
- 16QAM, rate=1/2 （周波数利用効率=2）での通信可能エリア=8.5%
- 16QAM, rate=3/4 （周波数利用効率=3）での通信可能エリア=11.9%

となり、理想的な利用効率は、 $1 \times 0.142 + 1.5 \times 0.113 + 2 \times 0.085 + 3 \times 0.119 = \underline{0.839}$ 。

また IEEE802.16e 標準化文書におけるサンプリング周波数(fs)の定義式

$$fs = \text{floor}((8/7) * BW / 8000) \times 8000$$

及び有効なデータキャリア数を考慮し、使用帯域に対する利用効率を算出すると 0.857。

これにさらに Guard Interval(=1/8)を考慮することにより、平均的な周波数利用効率は

$$0.839 \times 0.857 \times 1/(1+1/8) = \underline{\underline{0.639 \text{ [bit/s/Hz]}}}$$

と算出される。

なお、MIMO やスマートアンテナ技術などの伝送路マルチ化技術や干渉低減技術を導入することにより、更なる利用効率向上が見込めると考えております。

以上

別紙

周波数効率の根拠

【提案システム：2 - 7 IEEE802.16e (Portable & Mobile)】

ピーク伝送レートの考察

[WiMAX システム例]

帯域：20 MHz，ガードインターバル：1 / 16

変調方式：64 QAM (符号化率 = 3 / 4)

FFT：256 (192 data + 8 pilot + 56 ガードバンド)

情報ビット = $6 \times 192 = 1152$ ビット (誤り訂正考慮 = 864 ビット)

シンボル長 = $20 \text{ M} / 256 \times 1.06 = 12 \mu\text{s}$

ピーク伝送レート = $1152 \text{ ビット} / 12 \mu\text{s} = 96 \text{ Mbps}$

(ピーク情報レート = $864 \text{ ビット} / 12 \mu\text{s} = 72 \text{ Mbps}$)

よって、周波数効率としては以下となる。

周波数効率 = $96 \text{ Mbps} / 20 \text{ MHz} = \underline{\underline{5 \text{ bps} / \text{Hz}}}$

以上

別紙 周波数効率の根拠

FLASH-OFDM の周波数効率は以下の通り。

1 セクターあたりの周波数効率は実測で約 1.5 bit/Hz.(干渉を考慮)。

3 セクターで 1 セルを構成するため、1 セルあたりの周波数効率は 4.5bit/Hz となる。

周波数の再利用 : $N = 1$

以 上

ワイヤレスブロードバンド推進研究会
SIG - 事務局殿

IEEE802.16e 周波数利用効率について

2005.7.15
モトローラ株式会社

1. まえがき

周波数利用効率の検討にあたっては、理想状態における仕様上の最大値ではなく、セル・セクタ間の干渉や基地局からのロス等を考慮した平均のスループットで評価することが必要です。その目的のため、弊社では提案した IEEE802.16e に関してシミュレーションを現在実行中であり、その途中結果を元に周波数利用効率について以下にご報告します。なお、この結果は今後の検討により変更される可能性があります。

2. 結果

帯域幅	5MHz	10MHz
周波数利用効率(bps/Hz)	1.7	1.8

注1: 20MHz帯域幅も実施検討中ですが、上記結果より約 1.9 と推定しています。

3. シミュレーション条件概要

3.1 802.16e に関する条件

項目	条件	備考
帯域幅	5MHz, 10MHz	20MHz検討中
フレームサイズ	5msec	
アンテナ	シングル(MIMO、AAS 等無し)	
TDD/FDD	TDD	
TDD 比率	DL:UL=70:30	シミュレーション結果は DL
サブチャネル	FUSC	
Cyclic prefix	1/8	
制御シンボル/フレーム	3	

3.2 その他一般条件

項目	条件	備考
Site 間距離	2.8km	
周波数繰り返し利用	1	
セクタ数	3	
SIR 推定	EESM	注2参照
マルチパスチャネルモデル	Pedestrian-B, Vehicular-A	50:50比率
移動速度	3km/h	
トラフィックモデル	Full Buffer(2MB)	注3参照
セル・セクタ間干渉	一様	

注2:

3GPP TSG-RAN-1, "Effective SIR Computation for OFDM System-Level Simulations," R1-03-1370, Meeting #35, Lisbon, Portugal, November 2003.

注3:

3GPP2 C.R1002-0, CDMA2000 Evaluation Methodology, December2004.

周波数利用効率に関する考察

2005 年 7 月 15 日 三星電子(株)

提案システム(2-14)の周波数利用効率を以下に示す。

[前提] 周波数帯域幅 : 10MHz

区分	Down Link	Up Link
Sector/FA 当りの最大 Throughput	19.97 Mbps	5.53 Mbps
Sector/FA 当りの平均 Throughput	4.26 Mbps	1.84 Mbps

Down Link 最大周波数効率 = 10.43bps/Hz/Cell

Down Link 平均周波数効率 = 2.22bps/Hz/Cell

Up Link 最大周波数効率 = 5.10bps/Hz/Cell

Up Link 平均周波数効率 = 1.70bps/Hz/Cell

[算出根拠]

1. 最大 throughput

提案システムで提供する Down Link 及び Up Link の Sector/FA 当りの最大 throughput は表1の通り。

[表.1] Down Link 及び Up Link の Sector /FA 当りの最大 throughput

区分	Down Link	Up Link
Sector/FA 当りの最大 Throughput	19.97 Mbps	5.53 Mbps

表.1 において、Down Link Sector /FA 当りの最大 throughput は 5msec frame 構造で、26 の OFDMA シンボル (Down Link は 27 シンボルのうち、preamble に 1 シンボルを使うものとし、除外) 使用、FUSC subchannel 使用、64-QAM, 5/6 符号化率使用を基準とした数値である。

表 1 において、Up Link Sector /FA 当りの最大 throughput は 5msec frame 構造で、12 の OFDMA シンボル (Up Link は 15 シンボルのうち、control channel に 3 シンボルを使うものとし、除外) 使用、Optional PUSC subchannel 使用、16-QAM, 3/4 符号化率使用を基準とした。

2 . 平均 throughput

Down Link 及び Up Link の割当情報を伝送する為には Overhead channel を設定しなければならない。実際に使われる traffic channel シンボル数は、この Overhead channel の設定により異なるが、ここでは、この様な Overhead を除いた実際の traffic channel に割当てられるシンボル数を考慮して平均 throughput を算出する。

2 . 1 Down Link (traffic が 20 シンボル)

Overhead channel の割当に必要なシンボル を 6 シンボルと仮定する場合、 Down Link Sector/FA 当りの平均 throughput の simulation 結果は表2の通り。

[表.2] Down Link Sector /FA 当り 平均 Throughput

区分	PUSC	FUSC
Sector /FA 当り平均 throughput	3.55 Mbps	4.26 Mbps

表.2 において、 Down Link Sector /FA 当りの最大 throughput は 5msec frame 構造で、 traffic channel は 20 の OFDMA シンボル (Down Link の 27 シンボルのうち、 preamble に1シンボル、 FCH 及び Down Link-MAP に6シンボルを使うものと仮定)使用、 PUSC 及び FUSC subchannel の使用を基準とした数値である。

Simulation のチャンネルモデルは 韓国移動通信環境に適合した3通りのモデル、すなわち、 Pedestrian A 3km/h が 40%、 Pedestrian B 10km/h が 30%、 Vehicular A 60km/h が 30%の、各モデルを混合したモデルである。

2 . 2 Up Link (traffic が 12 シンボル)

Up Link Sector /FA 当りの平均 throughput の simulation 結果は表3の通り。

[表.3] Up Link Sector /FA 当りの平均 Throughput

区分	PUSC	O-PUSC
Sector /FA 当り平均 throughput	1.63 Mbps	1.84 Mbps

表3において、 Up Link は 5msec frame 構造で、 traffic channel に 12 の OFDMA シンボル (Up Link の 15 シンボルのうち、 control channel に3シンボルを使うものとし、除外)を使用する場合の数値である。

Simulation のチャンネルモデルは、表2の場合と同一である。

3 . 最大周波数効率

3 . 1 Down Link

$$(A) \text{ Down Link 有効周波数帯域幅} = (115.2 \mu\text{s/シンボル} * 27 \text{ シンボル} + (TTG+RTG)/2) / 5\text{ms} * 9 \text{ MHz} = 5.7442 \text{ MHz}$$

$$(B) \text{ Down Link 最大 throughput} = 19.97 \text{ Mbps/sector}$$

$$(C) \text{ Down Link 最大周波数効率} = (19.97 \text{ Mbps/sector} * 3 \text{ sector/cell}) / 5.7442 \text{ MHz} = 10.43 \text{ bps/Hz/cell} \quad (> 6 \text{ bps/Hz/cell})$$

3 . 2 Up Link

$$(A) \text{ Up Link 有効周波数帯域幅} = (115.2 \mu\text{s/シンボル} * 15 \text{ シンボル} + (TTG+RTG)/2) / 5 \text{ ms} * 9 \text{ MHz} = 3.2558 \text{ MHz}$$

$$(B) \text{ Up Link 最大 throughput} = 5.53 \text{ Mbps/sector}$$

$$(C) \text{ Up Link 最大周波数効率} = (5.53 \text{ Mbps/sector} * 3 \text{ sector/cell}) / 3.2558 \text{ MHz} = 5.10 \text{ bps/Hz/cell} \quad (> 2 \text{ bps/Hz/cell})$$

4 . 平均周波数効率

4 . 1 Down Link

$$\text{Down Link 平均周波数効率} = (\text{Sector/FA 当りの Down Link 平均 throughput} * 3 \text{ sector/cell}) / 5.7442\text{MHz} = 2.22 \text{ bps/Hz/cell} \quad (> 2 \text{ bps/Hz/cell})$$

4 . 2 Up Link

$$\text{Up Link 平均周波数効率} = (\text{Sector /FA 当りの Up Link 平均 throughput} * 3 \text{ sector/cell}) / 3.2558\text{MHz} = 1.70 \text{ bps/Hz/cell} \quad (> 1 \text{ bps/Hz/cell})$$

: 韓国における評価基準値の一例である。

(略語)

PUSC: Partial Usage of Subchannel

FUSC: Full Usage of Subchannel

O-PUSC: Optional PUSC

TTG: Transmit/receive Transit Gap

RTG: Receive/transmit Transit Gap

周波数利用効率に関する考察



2005/7/15

◆周波数効率の算出根拠

64QAM 変調	6	bit/symbol
code化率	75%	
MAC効率	80%	
クラスタ内セル数	1	セル
周波数効率	3.6	bit/Hz

◆周波数面積効率の算出

セル半径	0.5	km	※住宅地域等のエリア
クラスタ内セル数	1	セル	
クラスタ面積	0.65	km ²	
周波数面積効率	5.5	bit/Hz/km ²	
セル半径	0.3	km	※都心部エリア
クラスタ内セル数	1	セル	
クラスタ面積	0.23	km ²	
周波数面積効率	15.4	bit/Hz/km ²	
セル半径	0.1	km	※混雑エリア
クラスタ内セル数	1	セル	
クラスタ面積	0.03	km ²	
周波数面積効率	138.6	bit/Hz/km ²	

※実際の周波数利用効率を検討する上で単位面積を考慮に入れることは必要と考えますので、単位を(bit/Hz/km²)としたものについても記載しています。

WBB システムの周波数利用効率算出

2005 年 7 月 15 日

KDDI 株式会社

1 はじめに

セルを稠密連続にオーバーラップして配置するサービス提供を行うことを前提として、ここでは簡易的な方法としてマルチセル干渉条件下にある特定セルで得られる平均的なデータスループット、及び理想的な状況として平均的に得られるスループットを基に周波数利用効率を算出する。

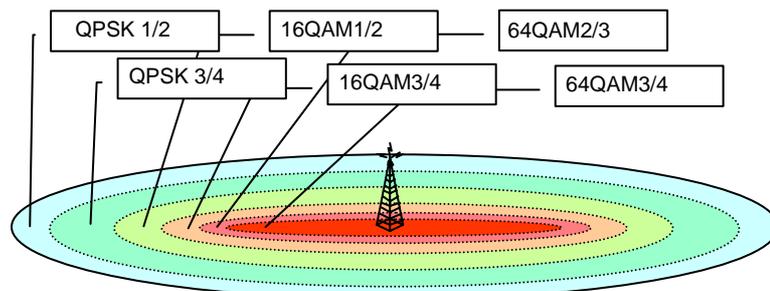
2 マルチセル環境での周波数利用効率

2.1 計算の条件

パラメータ	値
マルチセルの条件	19 セル
移動機の分布条件	19 セル内一様分布
パスロスモデル	Walsh 池上モデル
周波数	2 GHz
建物間隔	30m
道路幅	10m
基地局アンテナ高	25m
移動局アンテナ高	2m
道路角	45 度
建物高	25m
EIRP	57dBm
KTBF	-94.8dBm
帯域幅	20 MHz
下りリンク時間率	100%
Reuse Factor	1

2.2 平均セクタースループット、周波数利用効率の算出

場所率による平均スループットを算出する。



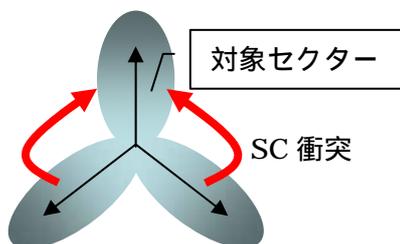
マルチセル(干渉3cell)の場合	QPSK1/2	QPSK3/4	16QAM1/2	16QAM3/4	64QAM2/3	64QAM3/4
Peak Rate [Mbps]	12.9	19.4	25.8	38.7	51.6	58.1
Percentage [%]	30	20	18	16	4	12

対象セル平均スループット 27.62

対象セル平均スループット T_{cell} : 27.64 [Mbps]

対象セルがサブチャネライゼーション(PUSC)によってサブキャリア(SC)衝突率 X を改善できると仮定する場合、対象セクターの平均スループットは、

$$(\text{平均セクタースループット}) = T_{cell} (2/3) * X * T_{cell}$$



PUSC 条件毎の平均セクタースループットは

衝突率	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
他セクタースループット [Mbps]	18.43	16.58	14.74	12.90	11.06	9.21
対象セクタースループット T_{sector} [Mbps]	9.21	11.06	12.90	14.74	16.58	18.43

となる。

衝突率 0.8 の場合のセクタースループットは 12.90 [Mbps]となる。

帯域幅 20 [MHz]での周波数利用効率 E は

$$E = 12.9 * (10^6) / 20 * (10^6) = 0.645 \text{ [Bit/Hz]}$$

となる。

3 理想条件での周波数利用効率

3.1 条件

パラメータ	値
移動機の分布条件	セル内一様分布
パスロスモデル	Walsh 池上モデル(その他パラメータは2項同様)
周波数	2 GHz
帯域幅	20 MHz
下りリンク時間率	100%
Reuse Factor	1

3.2 平均セクタースループット、周波数利用効率の算出

場所率より対象セルの平均スループットを算出する。

理想条件の場合	QPSK1/2	QPSK3/4	16QAM1/2	16QAM3/4	64QAM2/3	64QAM3/4
Peak Rate [Mbps]	12.9	19.4	25.8	38.7	51.6	58.1
Percentage [%]	30	21	16	19	2	12
			対象セル平均スループット			27.43

対象セル平均スループット T_{cell} : 27.44 [Mbps]

上記の値は、マルチセル条件下で、PUSC サブチャネルの衝突率=0の理想環境に概ね合致する。

帯域幅 20 [MHz]での周波数利用効率 E は

$$E = 27.44 * (10^6) / 20 * (10^6) = 1.372 \text{ [Bit/Hz]}$$

となる。

4 最後に

提案システムにおける周波数利用効率を算出し、0.645 ~ 1.372 の値を得た。

本検討は、マルチセル条件下のサブチャネライゼーション(PUSC)機能を含めた検討としたが、PUSC によるサブチャネル衝突率(干渉回避率)が現在明確となっていないことから、大きな幅を持った結果となった。今後サブチャネライゼーションの効果特性を更に詳しく検討を進めることにより、提案システムの周波数効率の精度向上を図る必要がある。

以上

2005/07/15

イー・アクセス(株)

提案システムの周波数効率

提案システム番号 2 - 20

提案システム名 Mobile WiMAX (IEEE802.16e)

IEEE802.16e は現在標準化ほぼ終了に向かっているが未完成であり、また多くのオプションが存在する。そこで、現在の WiBro の規格を基本構成とし、2009 年ごろまでに MIMO などの受信性能やそれに伴う符号化率の改善を見込み将来の周波数利用効率を算出した。

PHY Specs	
チャンネル帯域幅	9 MHz
Duplex	TDD/ 5 msec Frame
アクセス方式	OFDMA
変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM
誤り訂正符号, 3/4	Convolution Turbo Code
セル半径	~1km
周波数繰り返し比率	1
最大データ伝送速度 (スループット)	約 18 Mbps
将来の改良 (MIMO の性能向上、符号化率の改善など)	20% (2009 年ごろの技術開発を想定)
データ伝送速度	21.6 Mbps
周波数利用効率	2.4 bits/sec/Hz

参考資料[2]にあるように option の組み合わせにより伝送速度については改善の余地があると考えられる。将来の改良 (MIMO の性能向上) は十分期待できるが、サービス環境に応じて伝送速度が IMT に比べ変動する可能性を考慮し 2.4bits/sec/Hz としている。

参考資料：

[1] IEEE802.16e/D9

[2] IEEE C802.16e-04/467r8