(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2015-511444
(P2015-511444A)
(43)公表日　平成27年4月16日(2015.4.16)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H04L 27/36	***(2006.01)***	H04L	27/00	F	5K004
H04J 11/00	***(2006.01)***	H04J	11/00	Z	

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 76 頁）

(21)出願番号　特願2014-555299 (P2014-555299)
(86)(22)出願日　平成25年2月6日 (2013.2.6)
(85)翻訳文提出日　平成26年10月3日 (2014.10.3)
(86)国際出願番号　PCT/GB2013/000046
(87)国際公開番号　WO2013/117883
(87)国際公開日　平成25年8月15日 (2013.8.15)
(31)優先権主張番号　1202075.6
(32)優先日　平成24年2月6日 (2012.2.6)
(33)優先権主張国　英国 (GB)

(71)出願人　591081479
ブリティッシュ・ブロードキャスティング・コーポレーション
ＢＲＩＴＩＳＨ　ＢＲＯＡＤＣＡＳＴＩＮＧ　ＣＯＲＰＯＲＡＴＩＯＮ
イギリス国ロンドン，ダブリュー１エイ・１エイエイ，ブロードキャスティング・ハウス（番地なし）
(74)代理人　100092093
弁理士　辻居　幸一
(74)代理人　100082005
弁理士　熊倉　禎男
(74)代理人　100067013
弁理士　大塚　文昭

最終頁に続く

(54)【発明の名称】改良型ＱＡＭコンステレーションのための方法及び装置

(57)【要約】
非均一なＱＡＭ信号を決定し、送信し又は受信するための方法、送信器及び受信器は、チャンネル及び順方向エラー修正器のための信号対雑音比を選択し、次いで、その選択された信号対雑音比においてチャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定することを含む。コンステレーション内の１つのコンステレーションポイント及び別のコンステレーションポイントの位置は、コンステレーションポイントの位置を決定する前に、互いに等しくなるように制約を受ける。そうする間に、所与のＱＡＭスキームに対して従来の数より少ないコンステレーションポイントを有するいわゆる凝縮型のコンステレーション構成が導出される。この凝縮型のＱＡＭ構成は、ある信号対雑音比において改善された性能を有する。
【選択図】　図１

【特許請求の範囲】
【請求項１】
ＱＡＭスキームの非均一なＱＡＭコンステレーション位置を決定する方法であって、そのＱＡＭスキームは、順方向エラー修正器（ＦＥＣ）を使用してシステム内のチャンネルを経て送信されるべき信号に対して各コンステレーションポイントへマップされるｎ個のコードビットのワードを有するものである方法において、
前記チャンネル及び順方向エラー修正器に適した信号対雑音比（ＳＮＲ）を選択し、
前記選択されたＳＮＲにおけるチャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する、
ことを含む方法。
【請求項２】
前記選択されたＳＮＲに対して前記コンステレーションのポイントのある範囲の位置について前記チャンネルのチャンネル容量の尺度を計算し、及び前記範囲の位置から、前記選択されたＳＮＲにおけるチャンネル容量の尺度を最大にする位置を選択する、ことを含む請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記チャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する前に、少なくとも１つのコンステレーションポイントの位置を、別のコンステレーションポイントの位置に等しくするように制約を課することを含む、請求項１又は２に記載の方法。
【請求項４】
前記チャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する前に、複数のコンステレーションポイント各々の位置を、他の各コンステレーションポイントの位置に等しくするように制約を課することを含む、請求項３に記載の方法。
【請求項５】
１つ以上の隣接するコンステレーションポイントの位置が互いに等しくなるように制約される、請求項３又は４に記載の方法。
【請求項６】
前記制約される位置は、ワードの最上位ビット（ＭＳＢ）未満を表わす位置である、請求項３から５のいずれかに記載の方法。
【請求項７】
前記ＱＡＭスキームは、コンステレーション象限を有し、各象限におけるコンステレーションポイントの対は、互いに同じ位置となるように制約される、請求項３から６のいずれかに記載の方法。
【請求項８】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、2^n未満の整数である、請求項３から７のいずれかに記載の方法。
【請求項９】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、ｉをｎ未満の可変整数とすれば、2^{n-i}に等しくない整数である、請求項８に記載の方法。
【請求項１０】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、2^n未満で且つ2^{n-i}以上の整数である請求項８に記載の方法。
【請求項１１】
前記チャンネル容量の尺度は、ＢＩＣＭ容量である、請求項１から１０のいずれかに記載の方法。
【請求項１２】
前記ＢＩＣＭ容量は、式４から７に基づいて計算される、請求項１１に記載の方法。
【請求項１３】
前記チャンネル容量の尺度は、ＣＭ容量である、請求項１から１０のいずれかに記載の

方法。
【請求項１４】
前記ＣＭ容量は、式３に基づいて計算される、請求項１３に記載の方法。
【請求項１５】
前記チャンネルに適したＳＮＲは、チャンネルの設計ＳＮＲである、請求項１から１４のいずれかに記載の方法。
【請求項１６】
前記チャンネルに適したＳＮＲは、それより低いと、送信器から離れた受信器における順方向エラー修正が信号の回復に失敗するＳＮＲである、請求項１から１５のいずれかに記載の方法。
【請求項１７】
ＱＡＭスキームを使用して非均一なＱＡＭ信号をエンコード又はデコードする方法であって、そのＱＡＭスキームは、順方向エラー修正器（ＦＥＣ）を使用してシステム内のチャンネルを経て送信されるべき信号に対し各コンステレーションポイントへマップされるｎ個のコードビットのワードを有するものである方法において、コンステレーション位置を使用してエンコード又はデコードを行うことを含み、マップスキームのコンステレーション位置は、請求項１から１６のいずれかに記載の方法により決定される、方法。
【請求項１８】
チャンネルを経て送信されるべき信号に対し、各コンステレーションポイントへマップされるｎ個のコードビットのワードと共にＱＡＭスキームを有する形式の非均一なＱＡＭ信号を送信するための送信器において、この送信器は、順方向エラー修正器（ＦＥＣ）を有し、そして更に、
ｎ個のコードビットのワードを受け取りそしてそれを１つ以上の搬送波へとエンコードするように構成されたマッパーユニットを備え、このマッパーユニットは、
前記チャンネル及び前記順方向エラー修正器に適した信号対雑音比（ＳＮＲ）を選択し、及び
前記選択されたＳＮＲにおけるチャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する、
ことにより決定されたマッピングスキームのコンステレーション位置を含む、送信器。
【請求項１９】
前記コンステレーション位置は、前記選択されたＳＮＲに対して前記コンステレーションのポイントのある範囲の位置について前記チャンネルのチャンネル容量の尺度を計算し、及び前記範囲の位置から、前記選択されたＳＮＲにおけるチャンネル容量の尺度を最大にする位置を選択する、ことにより決定される、請求項１８に記載の送信器。
【請求項２０】
前記チャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する前に、少なくとも１つのコンステレーションポイントの位置を、別のコンステレーションポイントの位置に等しくするよう制約を課することにより、前記コンステレーション位置を決定する、請求項１８又は１９に記載の送信器。
【請求項２１】
前記チャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する前に、複数のコンステレーションポイント各々の位置を、他の各コンステレーションポイントの位置に等しくするように制約を課することにより、前記コンステレーション位置を決定する、請求項２０に記載の送信器。
【請求項２２】
１つ以上の隣接するコンステレーションポイントの位置が互いに等しくなるように制約される、請求項２０又は２１に記載の送信器。
【請求項２３】
前記制約される位置は、ワードの最上位ビット（ＭＳＢ）未満を表わす位置である、請求項２０から２２のいずれかに記載の送信器。

【請求項２４】
前記ＱＡＭスキームは、コンステレーション象限を有し、各象限におけるコンステレーションポイントの対は、互いに同じ位置となるように制約される、請求項２０から２３のいずれかに記載の送信器。
【請求項２５】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、2^n未満の整数である、請求項２０から２４のいずれかに記載の送信器。
【請求項２６】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、ｉをｎ未満の可変整数とすれば、2^{n-i}に等しくない整数である、請求項２５に記載の送信器。
【請求項２７】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、2^n未満で且つ2^{n-i}以上の整数である請求項２５に記載の送信器。
【請求項２８】
前記チャンネル容量の尺度は、ＢＩＣＭ容量である、請求項１８から２７のいずれかに記載の送信器。
【請求項２９】
前記ＢＩＣＭ容量は、式４から７に基づいて計算される、請求項２８に記載の送信器。
【請求項３０】
前記チャンネル容量の尺度は、ＣＭ容量である、請求項１８から２７のいずれかに記載の送信器。
【請求項３１】
前記ＣＭ容量は、式３に基づいて計算される、請求項３０に記載の送信器。
【請求項３２】
前記チャンネルに適したＳＮＲは、チャンネルの設計ＳＮＲである、請求項１８から３１のいずれかに記載の送信器。
【請求項３３】
前記チャンネルに適したＳＮＲは、それより低いと、送信器から離れた受信器における順方向エラー修正が信号の回復に失敗するＳＮＲである、請求項１８から３２のいずれかに記載の送信器。
【請求項３４】
順方向エラー修正器（ＦＥＣ）を使用してシステム内のチャンネルを経て送信される信号に対し各コンステレーションポイントへマップされるｎ個のコードビットのワードと共にＱＡＭスキームを有する形式の非均一なＱＡＭ信号を受信する受信器において、
１つ以上の搬送波を受信し、そしてそれを各コンステレーションポイントからのｎ個のコードビットのワードへデコードするように構成されたデマッパーユニットを備え、このデマッパーユニットは、
前記チャンネル及び前記順方向エラー修正器に適した信号対雑音比（ＳＮＲ）を選択し、及び
前記選択されたＳＮＲにおけるチャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する、
ことにより決定されたマッピングスキームのコンステレーション位置を含む、受信器。
【請求項３５】
前記コンステレーション位置は、前記選択されたＳＮＲに対して前記コンステレーションのポイントのある範囲の位置について前記チャンネルのチャンネル容量の尺度を計算し、及び前記範囲の位置から、前記選択されたＳＮＲにおけるチャンネル容量の尺度を最大にする位置を選択する、ことにより決定される、請求項３４に記載の受信器。
【請求項３６】
前記チャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する前に、少なくとも１つのコンステレーションポイントの位置を、別のコンステレーション

ポイントの位置に等しくするよう制約を課することにより、前記コンステレーション位置を決定する、請求項３４又は３５に記載の受信器。
【請求項３７】
前記チャンネル容量の尺度を最大にするコンステレーションポイントの位置を決定する前に、複数のコンステレーションポイント各々の位置を、他の各コンステレーションポイントの位置に等しくするように制約を課することにより、前記コンステレーション位置を決定する、請求項３６に記載の受信器。
【請求項３８】
１つ以上の隣接するコンステレーションポイントの位置が互いに等しくなるように制約される、請求項３６又は３７に記載の受信器。
【請求項３９】
前記制約される位置は、ワードの最上位ビット（ＭＳＢ）未満を表わす位置である、請求項３６から３８のいずれかに記載の受信器。
【請求項４０】
前記ＱＡＭスキームは、コンステレーション象限を有し、各象限におけるコンステレーションポイントの対は、互いに同じ位置となるように制約される、請求項３６から３９のいずれかに記載の受信器。
【請求項４１】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、2^n未満の整数である、請求項３６から４０のいずれかに記載の受信器。
【請求項４２】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、ｉをｎ未満の可変整数とすれば、2^{n-i}に等しくない整数である、請求項４１に記載の受信器。
【請求項４３】
チャンネル容量が計算されるポイントの数は、2^n未満で且つ2^{n-i}以上の整数である請求項４１に記載の受信器。
【請求項４４】
前記チャンネル容量の尺度は、ＢＩＣＭ容量である、請求項３４から４３のいずれかに記載の受信器。
【請求項４５】
前記ＢＩＣＭ容量は、式４から７に基づいて計算される、請求項４４に記載の受信器。
【請求項４６】
前記チャンネル容量の尺度は、ＣＭ容量である、請求項３４から４３のいずれかに記載の受信器。
【請求項４７】
前記ＣＭ容量は、式３に基づいて計算される、請求項４６に記載の受信器。
【請求項４８】
前記チャンネルに適したＳＮＲは、チャンネルの設計ＳＮＲである、請求項３４から４７のいずれかに記載の受信器。
【請求項４９】
前記チャンネルに適したＳＮＲは、それより低いと、送信器から離れた受信器における順方向エラー修正が信号の回復に失敗するＳＮＲである、請求項３４から４８のいずれかに記載の受信器。
【請求項５０】
ＱＡＭ信号を送信するための送信器において、
ソースデータを表わすデータビットのストリームを受け取り、そしてそれらを１つ以上の搬送波へとエンコードするように構成されたマッパーユニットを備え、そのマッパーユニットは、アペンディックスＡのテーブル１から８のいずれかに明示されたマッピングスキームのコンステレーション位置を含む、送信器。
【請求項５１】

ＱＡＭ信号を受信するための受信器において、
１つ以上の搬送波を受信し、そしてそれらを各コンステレーションポイントからのｎ個のコードビットのワードへとデコードするように構成されたデマッパーユニットを備え、そのデマッパーユニットは、アペンディックスＡのテーブル１から８のいずれかに明示されたマッピングスキームのコンステレーション位置を含む、受信器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、ＱＡＭ変調スキームに従って送信をエンコードし及びエンコードされた送信をデコードすること、並びにそのようなスキームのためのコンステレーションを決定する方法に関する。本発明は、特に、ＤＶＢ－Ｔ及びＤＶＢ－Ｔ２のようなデジタルテレビジョン規格に適しているが、それに限定されるものではない。
【背景技術】
【０００２】
背景として以下の文書を参照されたい。
［１］ＥＴＳＩ規格ＥＴＳ３００　７４４、Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Services; framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, 1997、ＤＶＢ－Ｔ規格。
［２］ＤＶＢ－Ｔ受像機の基本的構造について述べたヨーロッパ特許出願第１２２１７９３号。
［３］FRAGOULI, C, WESEL, R D, SOMMER, D, and FETTWEIS, G P, 2001。Turbo codes with non-uniform constellations. IEEE International Conference on Communications, ICC 2001。
【０００３】
直角位相振幅変調（ＱＡＭ）は、振幅シフトキーイング（ＡＳＫ）デジタル変調スキーム又は振幅変調（ＡＭ）アナログ変調スキームを使用して２つの搬送波の振幅を変調することによって動作する変調スキームである。通常は正弦波である２つの搬送波は、互いに９０°位相ずれしており、従って、直角位相搬送波又は直角位相コンポーネントと呼ばれる－ひいては、このスキームの名前である。変調された波は加算され、それにより生じる波形は、位相シフトキーイング（ＰＳＫ）及び振幅シフトキーイング（ＡＳＫ）の組み合わせであり、又は（アナログの場合には）位相変調（ＰＭ）及び振幅変調の組み合わせである。
【０００４】
送信記号（ワードとも称される多数のビット）を複素数として表わして、コサイン及びサイン搬送波信号を（各々）実数部及び虚数部で変調することにより、記号を同じ周波数の２つの搬送波で送信することができる。記号は、複素数で表わされているので、複素数平面におけるポイントとして見ることができる。実数及び虚数軸は、しばしば、同相又はＩ軸、及び直角位相又はＱ軸と称される。多数の記号を散布図にプロットすると、コンステレーション（信号配置）図が形成される。コンステレーション図のポイントは、コンステレーションポイントと称され、各ポイントは記号を表わす。記号により搬送されるビットの数は、ＱＡＭスキームの性質に依存する。コンステレーショングリッドにおけるポイントの数は、２の累乗であり、これは、各記号によってどれほど多くのビットを表わせるか定義する。例えば、１６ＱＡＭは、１６個のポイントを有し、これは、2^4で、記号当たり４ビットを与える。６４ＱＡＭは、６４個のポイントを有し、これは、2^6で、記号又はワード当たり６ビットを与える。２５６ＱＡＭは、２５６個のポイントを有し、これは、2^8で、記号又はワード当たり８ビットを与える。
【０００５】
信号を受信すると、復調器は、その時点で信号を検査し、信号によって表わされたベクトルを決定し、そして（ユークリッド距離という意味で）受信したベクトルのそれに最も接近したコンステレーション図のポイントを選択するよう試みる。従って、崩壊が生じた

場合には受信したベクトルを誤って復調し、送信されたものとは別のコンステレーションポイントに接近するように移動させる。ＱＡＭ信号により表わされるあり得るビットシーケンスを決定するプロセスは、復調又はデコーディングと称される。

【０００６】

規範的なデジタル地上テレビジョン送信器が図１に示されて以下で詳細に説明され、そしてそれに対応する受信器が図２に示されている。送信器内のコーディング構成体は、ＱＡＭコンステレーションポイントへ記号をマップするように構成されたＱＡＭマッパー４６を備えている。このシステムは、直交周波数分割多重（ＯＦＤＭ）送信を使用する。１つのＯＦＤＭフレームにおける全てのデータ搬送波は、ＱＰＳＫ、１６－ＱＡＭ又は６４－ＱＡＭのいずれかのコンステレーションを使用して変調される。使用するコンステレーションは、規格の図８ａから９ｃに示されている。

【０００７】

間隔が非均一なＱＡＭコンステレーションを使用することが知られている。これは、非均一ＱＡＭ（ここではＮＵＱＡＭと省略される）と称される。前記で参照したFRAGOULI, C, WESEL, R D, SOMMER, D, and FETTWEIS, G P氏の論文には、非均一ＱＡＭスキームが検討されている。規範的な非均一ＱＡＭコンステレーションが図３に示されている。

【発明の概要】

【０００８】

本発明の改良は、特許請求の範囲の独立請求項に規定する。

【０００９】

本発明は、エンコーディング／デコーディング方法、この方法に使用するためのエンコーダ／デコーダ及び送信器又は受信器を提供する。更に、本発明は、ＱＡＭコンステレーションを決定するための方法を提供する。

【００１０】

送信スキームに使用すべきＱＡＭコンステレーションを決定するための従来の方法は、放送システムの実際のチャンネル条件を適切に考慮するものでないことが明らかである。特に、従来のシステムの既知の非均一ＱＡＭコンステレーションは、最適なものでなく、ＱＡＭパラメータを選択するための基礎を改良できることが分かった。

【００１１】

広く述べると、本発明は、１つ以上の選択された信号対雑音比（ＳＮＲ）での容量尺度を最大にするようにＱＡＭパラメータを調整することにより、放送システムのＱＡＭコンステレーションパラメータ、特に、コンステレーションポイント位置を決定するための方法を提供する。この方法は、幾つかのコンステレーションポイントの位置を互いに同じであるように制約することにより、選択された次数のＱＡＭスキームに対するパラメータを決定することを含む。そのような近似を使用することにより、コンステレーション位置を決定するのに必要な計算が減少される。以下、添付図面を参照して、好ましい実施形態について説明する。好ましい実施形態は、１つ以上の選択された信号対雑音比（ＳＮＲ）における容量を最大にするようにＱＡＭパラメータを調整することを含む方法によってＱＡＭコンステレーションが決定される送信器及び受信器（例えば、ＤＶＢ－Ｔ又はＤＶＢ－Ｔ２用の）の形態をとる。

【００１２】

本発明は、添付図面を参照して一例として詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】本発明が適用される既知のＤＶＢ送信器の回路図である。

【図２】本発明が適用される既知のＤＶＢ受信器の回路図である。

【図３】ＤＶＢ－Ｔ規格に述べられた非均一な１６－ＱＡＭコンステレーションを示す図である。

【図４】チャンネルのシャノン容量を示すグラフである。

【図５】種々の均一ＱＡＭコンステレーションの使用を仮定してシャノン容量に比してチ

ャンネルのＣＭ容量を示すグラフである。
【図６】種々の均一ＱＡＭコンステレーションの使用を仮定してシャノン容量に比してチャンネルのＢＩＣＭ容量を示すグラフである。
【図７】種々の均一ＱＡＭコンステレーションに対するシャノン容量からのＢＩＣＭ容量の不足を示す。
【図８】選択されたＳＮＲのＱＡＭ外部ポイント距離に対する計算されたＢＩＣＭ容量のグラフで、特定の外部ポイント距離における最大容量を示す。
【図９】各ＳＮＲにおいて最適化された非均一な１６－ＱＡＭコンステレーションに対するＢＩＣＭ容量のグラフである。
【図１０】外部ポイント位置がＢＩＣＭ容量を最適化するＳＮＲに対して１６－ＱＡＭ外部ポイント位置をプロットしたグラフである。
【図１１】均一及び最適化された非均一の両方の場合に種々のＱＡＭ次数について選択されたＳＮＲに対してシャノン容量からのＢＩＣＭ容量の不足をプロットしたグラフである。
【図１２】６４ＮＵＱＡＭについて位置が最適化されるＳＮＲに対してコンステレーションポイント位置をプロットしたグラフである。
【図１３】２５６ＮＵＱＡＭについて位置が最適化されるＳＮＲに対してコンステレーションポイント位置をプロットしたグラフである。
【図１４】選択されたＳＮＲにおける均一ＱＡＭ及びＮＵＱＡＭを示す、シャノン限界からのＢＩＣＭ不足のグラフである。
【図１５】１０２４ＮＵＱＡＭについて位置が最適化されるＳＮＲに対してコンステレーションポイント位置をプロットしたグラフである。
【図１６】ＢＩＣＭ容量が最適化される２５６ＱＡＭに対するコンステレーションポイント位置のグラフである。
【図１７】選択されたＳＮＲにおける均一ＱＡＭ、２５６－ＮＵＱＡＭ及び凝縮２５６ＱＡＭを示す、シャノン限界からのＢＩＣＭ不足のグラフである。
【図１８】選択されたＳＮＲにおける均一ＱＡＭ、１０２４－ＮＵＱＡＭ及び凝縮１０２４ＱＡＭを示す、シャノン限界からのＢＩＣＭ不足のグラフである。
【図１９】選択されたＳＮＲにおける均一ＱＡＭ、４０９６－ＮＵＱＡＭ及び凝縮４０９６ＱＡＭを示す、シャノン限界からのＢＩＣＭ不足のグラフである。
【図２０】選択されたＳＮＲにおける均一ＱＡＭ、及び凝縮１６３８４ＱＡＭを示す、シャノン限界からのＢＩＣＭ不足のグラフである。
【図２１】ＱＡＭワード内のビットに対する受信メトリックのグラフである。
【図２２】ＡＷＧＮチャンネルのために最適化されたある範囲のＮＵＱＡＭ及びＣｏｎＱＡＭコンステレーションに対するシャノン限界からのＢＩＣＭ不足のグラフである。
【図２３】上のグラフは、ある範囲の基準・プラス・ｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ１００－スポットコンステレーション（方形のプロットマーカー）の場合の、非制約シャノン限界からのＢＩＣＭ容量の不足を示し、そして下のグラフは、ｘｘｘ－１４４Ａ－ＣｏｎＱＡＭ　１４４－スポットコンステレーション（ダイアモンド型のプロットマーカー、一致する色）を追加したものである。
【図２４】ある範囲の基準ＮＵＱＡＭ／ＣｏｎＱＡＭケース・プラス・ｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ１００－スポットコンステレーション（方形のプロットマーカー）及びｘｘｘ－１４４Ａ－ＣｏｎＱＡＭ　１４４－スポットコンステレーション（ダイアモンド型のプロットマーカー、一致する色）に対する、中間ＳＮＲ範囲での、非制約シャノン限界からのＢＩＣＭ容量の不足を示す。
【発明を実施するための形態】
【００１４】
ＤＶＢ送信器
背景を与えるために本発明が適用される既知の送信器について先ず説明する。そのような送信器は、当業者に知られたものである。以下の説明において、本発明の実施形態は、

以下に述べるマッパーに使用されるコンステレーションを導出するための新規な方法、及びそのようなコンステレーションを使用する新規な送信器を提供する。

【００１５】

送信器は、適当な信号ソースから入力１２を経てビデオ（Ｖ）、オーディオ（Ａ）及びデータ（Ｄ）信号を受信し、それらは、ＭＰＥＧ－２コーダー１４に印加される。ＭＰＥＧ－２コーダーは、個別のビデオコーダー１６、オーディオコーダー１８及びデータコーダー２０を備え、これらは、パケット化された基本的ストリームを形成し、このストリームは、番組マルチプレクサ２２でマルチプレクスされる。信号は、このようにして異なる番組、即ち、放送チャンネルに対して得られ、そしてそれらは、トランスポートストリームマルチプレクサ２４においてトランスポートストリームへマルチプレクスされる。トランスポートストリームマルチプレクサ２４の出力は、１８８バイトのパケットより成り、エネルギー分散のためランダマイザー２６に印加され、ここで、信号は、端子２８で受信される擬似ランダムバイナリシーケンス（ＰＲＢＳ）ジェネレータの出力と合成される。ランダマイザーは、ＲＦ（高周波）チャンネル内のエネルギーをより均一に分散する。次いで、信号は、順方向エラー修正器（ＦＥＣ）として一般的に知られているチャンネルコード化区分３０に印加され、この区分は、４つのメインコンポーネント、即ち外部コーダー３２、外部インターリーバー３４、内部コーダー３６、及び内部インターリーバー３８で構成される。

【００１６】

２つのコード化段階３２、３６は、受信器においてエラー修正を可能にするため、ある程度の冗長性を与える。２つのインターリーブ段階３４、３８は、エラーバーストを分断してエラー修正をより効果的に行わせるために受信器における対応するデインターリーバーにとって必要な先駆体である。

【００１７】

外部コーダー３２は、１８８バイトのパケットにおける信号を処理して各パケット１６にエラー保護バイトを追加するリード・ソロモン（ＲＳ）コーダーである。これは、２０４バイトの受信ワードにおいて８つまでのランダムエラーバイトの修正を許す。これは、（２０４、１８８、ｔ＝８）リード・ソロモンコードとして知られている。これは、ＲＳ（２５５、２３９、ｔ＝８）エンコーダを使用して短縮コードとして得られるが、最初の５１バイトは、ゼロにセットされる。

【００１８】

外部インターリーバー３４は、パケット構造内でバイト毎にフォーネイ(Forney)コンボリューションインターリーブ動作を作用させ、送信チャンネルにより導入されたバーストエラーを長い時間にわたって拡散して、それらがＲＳコーディング容量を越えるおそれを低くする。インターリーバーの後に、パケットのｎ番目のバイトは、ｎ番目のバイト位置に留まるが、通常、異なるパケット内である。バイトは、１２個のパケットにわたり次々に拡散され、入力パケットの第１のバイトが第１の出力パケットに入り、入力パケットの第２のバイトが第２の出力パケットに入り、等々となって、第１２のパケットまで続くようにする。次のバイトは、再び、第１のパケットに入り、その後、第１２のバイトごとにそのようになる。パケットは２０４バイトを含み、２０４＝１２×１７であるから、外部インターリーブの後に、パケットは、同じオリジナルパケットから到来する１７バイトを含む。

【００１９】

内部コーダー３６は、パンクチャー型コンボリューションコーダー（ＰＣＣ）である。システムは、６４状態を伴うレート１／２のマザーコンボリューションコードに基づき、ある範囲のパンクチャー型コンボリューションコードを許す。データ入力は、一連の６個の１ビット遅延４０に送られ、そしてそれにより得られる７つのビットが、図示されたように、２つのモジュロ２加算器４２、４４により異なる仕方で結合される。これらの加算器は、Ｘ又はＧ１出力及びＹ又はＧ２出力の形態で内部コーダーの出力を与え、文字Ｇは、ここでは、ジェネレータの和を意味する。Ｘ及びＹ出力は、シリアライザ４５によって

単一のビット流に結合される。

【００２０】

パンクチャーは、多数の考えられるパンクチャーパターンの１つに基づきＸ及びＹ出力の選択された一方を破棄することで得られる。パンクチャーを行わないと、各入力ビットが２つの出力ビットを生じる。パンクチャーを行うと、次のものの１つが得られる。

２つ毎の入力ビットが３つの出力ビットを生じる
３つ毎の入力ビットが４つの出力ビットを生じる
５つ毎の入力ビットが６つの出力ビットを生じる
７つ毎の入力ビットが８つの出力ビットを生じる

【００２１】

図１を参照すれば、規格に基づく内部インターリーバー３８は、２段階プロセスとして実施され、即ちビット毎のインターリーブと、それに続く記号インターリーブのプロセスとして実施される。それらは両方ともブロックベースである。しかしながら、先ず、到来するビット流は、以下に述べるように、ＱＰＳＫ（直角位相シフトキーイング）を使用すべきか、１６－ＱＡＭ（直角振幅変調）を使用すべきか、又は６４－ＱＡＭを使用すべきかに基づいて、２、４又は６個のサブストリームに分割される。各サブフレームは、別々にビットインターリーブされ、次いで、全てのストリームが記号インターリーブされる。

【００２２】

ビットインターリーバーは、２ｋモードにおける有用なデータのＯＦＤＭ記号の１／１２及び８ｋモードにおけるＯＦＤＭ記号の１／４８に対応するビットインターリーブブロックサイズを使用する。

【００２３】

記号インターリーバーは、２ｋモードが使用されるか８ｋモードが使用されるかに基づき、２、４又は６ビットワードを１５１２又は６０４８のアクティブな搬送波へとマップする。記号インターリーバーは、記号内で２、４又は６ビットのグループをシャッフルするように働く。これは、記号をメモリに書き込み、そして２、４又は６ビットのグループを、それらがメモリに書き込まれた順序とは異なる順列で読み出すことにより行われる。

【００２４】

２、４又は６ビットのグループ（コードビット、記号、又はワードとも称される）は、使用するモードに基づき、ＱＰＳＫ、１６－ＱＡＭ又は６４－ＱＡＭ変調に従ってビットを直角位相変調するマッパー４６に送られる。（ＱＰＳＫは、４－ＱＡＭと表わされてもよい。）規格の図９にコンステレーションが示されている。これは、Ｘ軸に１、２又は３ビットをそしてＹ軸に１、２又は３ビットを要求することが明らかである。従って、シャッフルプロセスにおける２、４又は６ビットを参照するが、実際上、シャッフルは、実数部における１、２又は３ビット、及び虚数部における１、２又は３ビットに適用される。

【００２５】

信号は、次いで、フレームアダプタ４８においてフレームへと編成され、そしてＯＦＤＭ（直交周波数分割マルチプレクサ）コーダー５０へ送られる。各フレームは、６８個のＯＦＤＭ記号より成る。各記号は、２ｋモードでは１７０５個の搬送波で構成され、又は８ｋモードでは６８１７個の搬送波で構成される。一例として２ｋモードを使用すると、単一の搬送波で１７０５ビットを順次に送信するのではなく、それらは、アッセンブルされて１７０５個の搬送波で同時に送信される。これは、各ビットを相当に長い間送信することができ、これは、ガードインターバルの使用とあいまって、多経路干渉の影響を回避し、そして少なくとも８ｋモードでは、単一周波数ネットワークの生成を許す。

【００２６】

各記号の期間、即ち記号周期は、アクティブ又は有用な記号周期と、ガードインターバルとで形成される。隣接搬送波間の間隔は、アクティブな記号周期の逆数であり、従って、搬送波間の直交性の条件を満足する。ガードインターバルは、アクティブな記号周期の既定の一部分であり、アクティブな記号の繰り返しの継続を含む。

【００２７】

又、フレームアダプタ４８は、信号にパイロットを挿入するように動作し、その幾つかは、受信信号に対する基準振幅及び位相を決定するために受信器において使用される。パイロットは、１７０５又は６８１７個の送信搬送波間で散乱される散乱パイロット、及び連続固定パイロットを含む。パイロットは、ＰＲＢＳシーケンスに基づいて変調される。使用するチャンネルコーディング及び変調スキームを指示するパラメータを信号し、同期を与え、等々のために、他の幾つかの搬送波が使用される。

【００２８】

ＯＦＤＭコーダー５０は、本質的に、逆高速フーリエ変換（ＦＦＴ）回路５２と、ガードインターバル挿入回路５４とで構成される。ＯＦＤＭコーダーの構造は、当業者に知られている。

【００２９】

最終的に、信号は、デジタル／アナログコンバータ５６に送られ、そこから、送信器電力増幅器を含む送信器「フロントエンド」５８へ送られ、次いで、アンテナ６０から無線周波数で放射される。

【００３０】

ＤＶＢ受信器

完全を期すため既知の受信器についても説明する。本発明の実施形態は、本発明によるコンステレーションスキームを正しくデコードできるようにデマッピングを変更する。

【００３１】

受信器１００において、アナログＲＦ信号がアンテナ１０２により受信されて、受信器フロントエンドを構成するチューナ又はダウンコンバータ１０４へ送られ、ここで、基本帯域にされる。チューナからの信号は、アナログ／デジタルコンバータ１０６へ送られ、その出力は、ＯＦＤＭデコーダ１０８への入力を形成する。ＯＦＤＭデコーダの主成分は、送信器のＦＦＴとは逆である高速フーリエ変換（ＦＦＴ）回路である。ＦＦＴは、各搬送波に記号周期当たり１ビットをもつ多搬送波送信信号を受け取り、そしてそれを、記号周期当たり多数のビットを伴う単一信号に変換して戻す。ガードインターバルの存在が、送信される全ビットレートに比して比較的低い記号レートとあいまって、デコーダを、多経路歪又は干渉に著しく耐えるものにする。

【００３２】

当業者に良く知られたように、適当な同期が与えられる。特に、同期回路は、ＡＤＣ１０６及びＦＦＴ１０８から入力を受け取り、そしてＦＦＴへ出力を与えると共に、自動周波数コントロールのために、チューナ１０４にも出力を与える。

【００３３】

ＯＦＤＭデコーダ１０８の出力は、次いで、チャンネルイコライザー１１０に送られる。これは、チャンネル周波数応答を推定し、次いで、その推定された応答で入力信号を分割して、イコライズされたコンステレーションを出力する。

【００３４】

ここで、信号は、チャンネル状態を測定する機能と、直角変調されたコンステレーションを復調又はデマッピングする機能とを結合した回路１１２へ送られる。復調は、受け取られた実際のコンステレーションポイントに最も近い公称コンステレーションポイントを選択することにより、信号をＱＰＳＫ、１６－ＱＡＭ又は６４－ＱＡＭから単純なデータストリームへ変換し、それらは送信チャンネルにおいてある程度の歪を受けている。同時に、回路１１２は、デコードされたコンステレーションポイントが、実際に、それと解釈されるポイントを表わす見込み又は確実性のレベルを推定する。その結果、デコードされたビットの各々に見込み又は信頼値が指定される。メトリック指定及びデマッピング回路１１２の出力は、ここで、エラー修正ブロック１２０に送られ、このブロックは、送信器の順方向エラー修正器３０に導入された冗長性を使用する。エラー修正ブロック１２０は、次のものを含む。

内部デインターリーバー１２２、

ソフト判断ビタビデコーダの形態の内部デコーダ１２４、

外部デインターリーバー１２６、及び
外部デコーダ１２８
【００３５】
内部デインターリーバー１２２は、送信器の内部インターリーバー３８に導入されたものを単に逆転する記号ベースのデインターリーブを行う。これは、エラーバーストを拡散し、それがビタビデコーダ１２４により良好に修正されるようにする。内部デインターリーバーは、先ず、記号（即ち、各々１、２又は３）内の２、４又は６実数及び虚数ビットのグループをシャッフルし、次いで、ブロックベースでビット毎のデインターリーブを行う。そのビットデインターリーブは、２、４又は６サブストリームに別々に適用される。
【００３６】
ここで、信号がビタビデコーダ１２４に送られる。ビタビデコーダは、送信器のパンクチャー型コンボリューションコーダー３６により導入されたコードのためのデコーダとして働く。パンクチャーは、（それが使用されるとき）ある送信ビットの排除を生じさせ、それらは、ビタビデコーダへの入力において０と１との間の中間値を指示するコードで置き換えられる。これは、ビットに最小見込み値を与えることにより行われる。最小見込みコードが厳密に０と１との間にない場合には、追加ビットに、０及び１に対する最小値を交互に与える。ビタビデコーダは、ソフト判断入力、即ち０又は１の見込みを表わす入力を使用し、そしてそれらを履歴情報と一緒に使用して、コンボリューションエンコーダへの入力が０であった見込みが高いか１であった見込みが高いか決定する。
【００３７】
次いで、ビタビデコーダからの信号は、各パケット内でバイト毎に動作する従来のコンボリューションデインターリーバーである外部デインターリーバー１２６に送られる。このデインターリーバー１２６は、送信器の外部インターリーバー３４の動作を逆に行う。この場合も、これは、バーストエラーを拡散して、外部コーダー１２８がそれらをうまく処理できるように働く。
【００３８】
外部デコーダ１２８は、受信した２０４バイトのパケットから１８８バイトのパケットを発生するそれ自体知られたリード・ソロモンデコーダである。
【００３９】
エラー修正ブロック１２０の最終エレメントを形成するリード・ソロモン外部デコーダ１２８から、エネルギー分散除去段１３０に信号が送られる。この段は、擬似ランダムバイナリシーケンスを入力１３２で受け取り、そしてそれを使用して、送信器のエネルギー分散ランダマイザー２６のアクションを逆に行う。そこから、信号は、ＭＰＥＧ－２トランスポートストリームデマルチプレクサ１３４へ送られる。ＭＰＥＧ－２デコーダ１３６に所与の番組が与えられ、１３８において他の番組が分離される。ＭＰＥＧ－２デコーダ１３６は、図１の入力１２に対応する出力１４０に基本的ストリームを与えるように、ビデオ、オーディオ及びデータを別々にデコードする。
【００４０】
変調次数
ＤＶＢ－Ｔ及びＤＶＢ－Ｔ２のような従来の均一矩形波変調は、グレーコード化ビットマッピングを使用して、コンステレーションの各記号を表わす。既に述べたように、ＤＶＢ－Ｔ２は、特定のコンステレーションを指定する。
【００４１】
各コンステレーションポイントを表わすのに必要なコードビットの数は、テーブル１に示すコンステレーションサイズに依存する。

コンステレーション	所要ビット数	ビット順序
QPSK	2	{ bit0 bit1 }
16-QAM	4	{ bit0 bit1 bit2 bit3 }
64-QAM	6	{ bit0 bit1 bit2 bit3 bit4 bit5}
256-QAM	8	{ bit0 bit1 bit2 bit3 bit4 bit5 bit6 bit7 }
1024-QAM	10	{ bit0 bit1 bit2 bit3 bit4 bit5 bit6 bit7 bit8 bit9
4096-QAM	12	{ bit0 bit1 bit2 bit3 bit4 bit5 bit6 bit7 bit8 bit9

テーブル１：異なるコンステレーションサイズに対するビット順序及び所要ビット

【００４２】

提案された改良

新規な技術は、チャンネルのＳＮＲを考慮することにより、非均一性の程度、又は外部ポイント対内部ポイント位置の比を導出する。この改良を理解するために、ある背景理論を最初に説明する。

【００４３】

当業者に明らかなように、理論的「最大容量」（考えられる最大データスループット）は、１９４８年のシャノン(Shannon)氏の論文において、送信信号が平均電力Ｐを有するときに平均電力がＮである付加的なホワイト端子ノイズにより擾乱される帯域Ｗ（Ｈｚ）のチャンネルの容量Ｃ（単位ビット／秒）が次のように与えられる（式１）として定義されている。

$$C = W \log_2 \frac{P+N}{N}$$

【００４４】

前記容量の式は、付加的なホワイトガウスノイズ（ＡＷＧＮ）を伴う単一の帯域限定チャンネルの最大容量を定義する。チャンネルの性能はＡＷＧＮのみにより限定され、他の質低下はなく、且つノイズはＡＷＧＮである、との仮定があることが明らかである。更に、信号それ自身のランダムなガウス分布特性に関する仮定もある。しかしながら、ＤＶＢ信号は、理論的なランダム信号ではなく、コンステレーションを使用する。ＤＶＢのコンテクストにおいて、より特定の実際的な環境を適用しなければならない。ＱＡＭが一連のコンステレーションを使用することは、送信された信号が、ここで、ある離散的な分布を有することを意味する。チャンネルノイズを付加した後でも、それにより生じる受信信号分布は、ガウスではなく且つガウスとはなり得ず、従って、どんなコードを選択して適用しても、古典的な数式の最適な容量を得ることはできない。最適化のための優れた解決策が要望されることが明らかである。

【００４５】

より一般的な相互情報式、即ち送信信号ｘと受信信号ｙとの間の相互情報Ｉ（Ｘ、Ｙ）を使用して、求める容量の定義を与えることができる（式２）。

$$I(X,Y) = \int\int \left(p(x,y) \log_2 \frac{p(x,y)}{p(x)p(y)} \right) dxdy$$

【００４６】

前記式を使用して、次のような実際のチャンネル容量の別の尺度を導出することができる。

（ｉ）コード化変調（ＣＭ）容量：特定のコンステレーションアルファベットが使用されるが、それを使用する際の「賢さ(cleverness)」に何ら制約を課すものではないと仮定する；

（ii）ビットインターリーブされたコード化変調（ＢＩＣＭ）容量：コード化データビット（あるＦＥＣコードからの）が適当にインターリーブされそして特定のコンステレーションのポイントへ特定の仕方でマップされると仮定する。

【００４７】

コード化変調（ＣＭ）容量

考えられるアルファベットから選択されたコンステレーション記号を送信すると仮定する。従って、送信すべきｘの特定の個別値x_iがある。それ故、ｙ（付加的ノイズにより連続的とされる受信信号）にわたる積分、及び個別のx_iにわたる加算を含むように相互情報式を変更しなければならない。物事は、古典的矩形ＱＡＭコンステレーションにとって最も容易である。というのは、それらは、全容量の半分を各々有する２つの直交一次元コンステレーションとして処理できるからである。各軸のノイズ分散をＳＮＲ及び全信号「電力」に関連させるときには、当然、適度な注意を払わねばならない。

【００４８】

１つのコンステレーション軸がｎ個の位置（例えば、６４－ＱＡＭでは８個）を有する場合には、コード化変調容量は、次のように導出される（式３）。

$$I(X;Y)=\int_Y \sum_{i=1}^{n} \frac{p(y|x_i)}{n} \log_2(p(y|x_i))\,dy - \int_Y \sum_{i=1}^{n} \frac{p(y|x_i)}{n} \log_2(\sum_{k=1}^{n} \frac{p(y|x_k)}{n})dy$$

【００４９】

種々の均一なＱＡＭ次数に対する計算されたＣＭ容量をＳＮＲと共に示すグラフが図５に示されている。明らかなように、各大きなコンステレーションは、大きなＣＭ容量を有するが、制約のないシャノン容量からの隔たりは、ＳＮＲと共に増加する。

【００５０】

ビットインターリーブされたコード化変調（ＢＩＣＭ）容量

前記ＣＭの場合のように、コンステレーション記号を送信すると仮定する。しかしながら、現在、これらの記号をどのように送信するかに関しては、ある程度明確であるに過ぎない。コード化ビット（バイナリコードを仮定する以外、それらを発生する順方向エラーコードの形態は明示されない）は、多数の馴染み深い方法の１つでコンステレーションポイントにマップされると仮定する。簡単な例として、グレーコードを伴う１６－ＱＡＭを使用すると仮定する。各コンステレーションには、独立した各軸に対して２つづつ、４つのコード化ビットがマップされる。コンステレーション位置（１つの軸上）は、｛－３、－１、＋１、＋３｝であり、次のようにマップされる。

位置	－３	－１	＋１	＋３
ＭＳＢ	０	０	１	１
ＬＳＢ	１	０	０	１

【００５１】

ＭＳＢは１であると仮定する。これは、送信されるポイントが、ＬＳＢの状態に基づいて＋１又は＋３のいずれかであることを意味する。仮定しなければならないことは、特定のコンステレーションポイントにマップされたビットが独立であり、且つ各ビットがおそらく０又は１であることである。従って、ここで、ＭＳＢが１として送信される場合には、受信信号ｐ（ｙ｜送信ＭＳＢは１）のＰＤＦは、ｙ＝＋１及びｙ＝＋３に２つの等しい高さピークを有する。（これは、ＣＭ計算中に生じるｐ（ｙ｜x_i）の単一ピークと比較される。）次いで、相互情報式を互いに適用することにより各ビットレベルの容量を別々に算定し（そのレベルのマッピングに注意して）、そして最終的に、合計容量を、それらビットレベル容量の和として得ることができる。

【００５２】

ビットｂの容量は、次のように表わされる（式４）。

$$\text{capacity of bit } b = \int_Y p(b \text{ is } 0, y) \log_2 \frac{p(b \text{ is } 0, y)}{P(b \text{ is } 0)\, p(y)} dy + \int_Y p(b \text{ is } 1, y) \log_2 \frac{p(b \text{ is } 1, y)}{P(b \text{ is } 1)\, p(y)} dy$$

【００５３】

同程度の確率の０及び１が送信され、従って、Ｐ（ｂｉｓ１）＝Ｐ（ｂｉｓ０）＝１／２であると仮定する。次いで、ｐ（ｂｉｓ０、ｙ）＝ｐ（ｙ｜ｂｉｓ０）Ｐ（ｂｉｓ０）＝ｐ（ｙ｜ｂｉｓ０）／２、そしてｐ（ｂｉｓ１、ｙ）についても同様得である。分数の対数を２つの対数の差として書き込み、拡張し及び再グループ化する際にこれらを入れることで、数値積分に便利な次の式がビットｂの容量に対して得られる（式５）。

$$\int_Y \left(\frac{\left(p(y|b \text{ is } 0) \log_2 p(y|b \text{ is } 0) + p(y|b \text{ is } 1) \log_2 p(y|b \text{ is } 1) \right)}{2} - p(y) \log_2 p(y) \right) dy$$

【００５４】

ここで、チャンネルが、分散σ^2を有するＡＷＧＮを各軸に付加すると仮定すれば、条件確率の表現を代入することができ、今度は、他のコンステレーションビットが同程度の確率であると仮定する（式６）。

$$p(y|b \text{ is } 0) = \frac{2}{n} \sum_{x_i \in C_b^0} p(y|x_i) = \frac{2}{n} \sum_{x_i \in C_b^0} \frac{e^{-\frac{(y-x_i)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

ｐ（ｙ｜ｂｉｓ１）についても同様である。最終的に、前記と同様であるが、アルファベットの概念を使用して表現すると、代入も行われる（式７）。

$$p(y) = \sum_{x_i \in C} \frac{p(y|x_i)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{x_i \in C} \frac{e^{-\frac{(y-x_i)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

【００５５】

ＱＡＭコンステレーションに対するＢＩＣＭ容量を得るために、各ビットに対してこの計算を行い、そしてそれらの容量を加算する。実際に、これは、１つの軸の容量を計算し、そしてそれを２倍にすることを意味する。このように計算されるＢＩＣＭ容量は、確かに、ビットインターリーブされた単一のコードを使用するための有効上限である。

【００５６】

ビット容量の式（式４）及び条件確率の代入（式６、７）から明らかなように、チャンネルのＢＩＣＭ容量は、ＡＷＧＮの関数であり、ひいては、ＳＮＲの関数である。種々の均一なＱＡＭ次数に対するＢＩＣＭ容量とＳＮＲとのグラフが図６に示されている。明らかなように、ＳＮＲが増加するにつれて、ＱＡＭサイズは、最大のＢＩＣＭ容量を有するように交替するが、制約のないシャノン理論的限界からの隔たりが上述したように成長する。例えば、６４－ＱＡＭは、１２ｄＢのＳＮＲ付近でリーダーであり、一方、２５６－ＱＡＭは、１８ｄＢ付近でベストであり、２３ｄＢより上では１０２４－ＱＡＭが引き継ぐ。制約のないシャノン理論的限界からの容量のＢＩＣＭ計算値の不足は、図７において明らかである。これは、各次数がベストとして交替し、そして隔たりがＳＮＲと共に成長することを視覚的に確認する。

【００５７】

ここに提案する改良は、ＱＡＭがガウスではなく且つ既知の固定の非均一なＱＡＭコンステレーションが不充分なことを認識したものである。改良は、容量、特に、ＢＩＣＭ容量をある特定の「設計」ＳＮＲにおいて最大にするようにＱＡＭコンステレーションの非

均一性を適応させ、そしてそれを他の各ＳＮＲに対して適応させるという考え方にある。
【００５８】
設計上のＳＮＲ（容量を最適化するＳＮＲ）と、特定の受信器により実際に経験された動作上のＳＮＲとの間の区別を引き出すことができる。放送用のシステムは、１つの送信器と、多数の受信器とを有し、通常、リターンシグナリングはない。このケースでは、全ての受信器に同じ信号フォーマットを送信しなければならない。このような状況では、システムのための設計上のＳＮＲ、即ちシステムのある観点を最適化するＳＮＲを選択するのが適当である。設計上のＳＮＲは、意図されたカバレージエリアの縁にある受信器がおそらく経験するＳＮＲに対応するのが好ましい。カバレージエリア内の他の受信器は、著しく良好なＳＮＲを充分に経験する。設計上のＳＮＲを最適化することは、このケースでは、最悪の場所にある受信器の容量を最適化する。動作上のＳＮＲが高い他の受信器は、全く同じ信号を受信し、従って、それらは、ＳＮＲが大きいことによる容量の効果を得ないが、それでも、最悪のケースに対して得られるものと同等の満足な結果を受ける。原理的に、これらの特定の受信器には、大きな容量で信号が送信されるが、意図されたカバレージの縁にある受信器へのサービスを失うことを犠牲にする。従って、この実施形態における「設計」ＳＮＲは、カバレージが意図された最悪の場所の受信器について予想されるものであり、即ち全ての受信器が実際上この同じＳＮＲ又はそれ以上を楽しみ、従って、満足に遂行することを仮定している。設計上のＳＮＲに対して容量を最適化できることにより、全部に同時に与えることのできる最高の容量が得られる。
【００５９】
原理的に、別の実施形態は、１対１の両方向リンクであり、この場合、設計上のＳＮＲは、受信器において経験される実際のＳＮＲに基づいて適応され、受信器は、暫くの間どんなＳＮＲを経験するかのレポートを送信器へ返送することができる。原理的に、送信器は、最良の結果を得るように送信を適応させる。既存のシステムは、おそらく、そのような状況においてＱＡＭ次数をスイッチする。原理的に、本発明を実施するそのようなシステムは、現在ＳＮＲにおいて容量を最大にするようにコンステレーションポイントの位置を適応させ、設計上のＳＮＲと動作上のＳＮＲが１つの同じものであるようにする。
【００６０】
改良は、先ず、１６－ＱＡＭを参照して説明する。これは、正確に言うと、変更できるのが非常に僅かなため、検討すべき簡単なケースを提示する。均一な１６－ＱＡＭが位置｛－３、－１、＋１、＋３｝を使用することを考えると、１つのパラメータγ（外部ポイント位置対内部ポイント位置の比）を使用して、位置｛－γ、－１、＋１、＋γ｝を有する非均一な形態を形成することができる。特定のＳＮＲについて、上述した式又はそれらに基づく計算を使用して、ＢＩＣＭ容量をγの関数としてプロットし、ひいては、１つのＳＮＲに対するＢＩＣＭ最適値を見出すことができる。これは、図８に示されている。２つの垂直格子線は、均一ＱＡＭについてはγ＝３（左）、及びγ　３．６１（右）に対応し、これは、他の方法により決定された固定値である。このＳＮＲについて、最適なγは、実際に、これら２つの間にあり、そして容量が非常に控え目であることが分かる。
【００６１】
このプロセスは、他のＳＮＲに対して容易に繰り返すことができ、そしてそうすることで、最適なγがＳＮＲに依存することが分かる。次いで、各ＳＮＲに対する最適なγ及びそれにより得られるＢＩＣＭ容量を見出すことができる。
【００６２】
計算について選択された解決策は、数値の最適化を使用することである。潜在的に、最適なγとＳＮＲとの間の関係は、関数で表現することができ、そしてγの値は、分析で決定される。例えば、ＢＩＣＭ容量がｆ（γ）として容易に表現できる場合には、最大値の位置を微分により解くことができる。しかしながら、この方法を高い次数に適用するときには、計算が、より複雑になる。以下で説明するように、高い次数については、より多くのパラメータがあり、例えば、２５６－ＱＡＭでは、７個のパラメータがあり、解くべき関数は、各パラメータに対する微分を順次に行うことになり、例えば、ｄｆ／ｄα＝０、

ｄｆ／ｄβ＝０、等を解くことになる。複雑さに関しては、好ましい解決策は、数値最適化である。ここに述べる実施形態は、既知の数学プログラム及びその「Ｎｍａｘｉｍｉｚｅ」コマンドを使用し、これは、本質的に、パラメータ（α、β、γ、δ、ε、ζ、η）の各々を変更することにより関数ｆ（α、β、γ、δ、ε、ζ、η）を最大にする多数の数値最適化技術を使用する。

【００６３】

その結果が図９に示されている。実線の曲線は、既知の方法で形成されたγ　３．６１をもつ単一の固定の非均一コンステレーションに対するＢＩＣＭ容量改善を（均一の１６－ＱＡＭに比して）示している。ポイントは、この改善を使用して各特定のＳＮＲに対して最適化された非均一ＱＡＭに対するＢＩＣＭ容量改善を示している。ＳＮＲごとの最適化は良好であると推論され、それは、プロットされたポイントで確認される。それらは、「古い」方法は、例えば、６から９ｄＢの範囲ではＳＮＲに対する最適化に近いが、ＳＮＲごとの最適化は、明らかにどこでも優れていることを示している。もちろん、その有益さは、期待した通り、少ない。最終的に、高いＳＮＲでは、予想されるように、非均一性に対する効果がもはやない。又、この新規な方法は、０ｄＢ及びそれ以下に向かう低いＳＮＲにおいて目立った改善も示している。

【００６４】

図１０は、予想されるように、高いＳＮＲに対して最適なγが３に向かい、コンステレーションを均一なものに戻すことを示している。これは、ピーク値（既知の方法のものより若干大きい）を７ｄＢ　ＳＮＲ付近に有し、その値より低いと、再びそれが降下する。ＳＮＲが充分低いと（約１ｄＢより低い）、γが１に収斂し、コンステレーションが１６－ＱＡＭから４－ＱＡＭへ崩壊し、そしてそのＬＳＢは、ここで、ゼロ容量となる。これは、図９に示すように、非常に低いＳＮＲにおける非均一さの明らかな効果を説明するものであり、即ちその効果は、実際には、単に、低いＳＮＲでは４－ＱＡＭが均一の１６－ＱＡＭより優れているというものである。明らかなように、最適化された外部コンステレーションポイント位置γは、高いＳＮＲでは３に向かい、これは、均一なＱＡＭ位置である。というのは、内部ポイント位置が１とみなされ、２の均一間隔を与えるからである。低いＳＮＲ値では、コンステレーション外部ポイント位置が３より低く減少し、従って、外部ポイント及び内部ポイント位置が互いに接近するという意味で最も「圧縮」される。７ｄＢ付近では、外部ポイント位置γは、約３．８の最大値であり、外部ポイント及び内部ポイントが更に離れるという意味で外部ポイントが「伸張」されることを意味する。

【００６５】

本発明の最適化方法を高次のコンステレーションへ拡張することは、原理的には、容易であるが、計算上課題がある。ＢＩＣＭ（又は実際にはＣＭ）容量を最適化するために、より多くのパラメータを定義しなければならず、それらは、驚くほど増加する。１つの軸上に仮定されたコンステレーションポイントを次のように表示する。

１６－ＱＡＭ：－｛－γ、－１、＋１、＋γ｝

６４－ＱＡＭ：－｛－γ、－β、－α、－１、＋１、＋α、＋β、＋γ｝

２５６－ＱＡＭ：－｛－η、－ζ、－ε、－δ、－γ、－β、－α、－１、＋１、＋α、＋β、＋γ、＋δ、＋ε、＋ζ、＋η｝

従って、１６－ＱＡＭは、１つのパラメータを有し、６４－ＱＡＭは、３つ、そして２５６－ＱＡＭは、７つを有する。１０２４－ＱＡＭは、１５のパラメータを有する。これを、３１のパラメータをもつ４０９６のＱＡＭ、及び６３のパラメータをもつ１６３８４のＱＡＭに拡張することができる。この数のパラメータでは、グラフを使用して最大値を見出す選択肢はもはやない。むしろ、数値の最適化を使用する。

【００６６】

得られるＢＩＣＭ容量が図１１に示されている。均一ＱＡＭコンステレーションの結果が破線で再現されており、一方、ＳＮＲ毎に最適化された非均一ＱＡＭコンステレーションの対応する結果が、プロットポイントを伴う実線と同じ調子で示され且つ表示される。既に結論されたように、非均一の１６－ＱＡＭは、ほぼ６から１１ｄＢの予想ＳＮＲ範囲

で均一１６－ＱＡＭより若干改善されることが明らかである。又、低いＳＮＲにおいて、均一４－ＱＡＭ曲線上に収斂することにより改善が与えられる（ここでは、実際に、４－ＱＡＭまで崩壊するので）。非均一な６４－ＱＡＭ及び２５６－ＱＡＭは、更に関心があり、それらは、その均一形態に比して非常に大きな改善を与える。これは、おそらく、驚くことではない。というのは、簡単な１６－ＱＡＭコンステレーションを最適化するのは非常に僅かな範囲であり、これらの大きなコンステレーションは、調整するためのパラメータをより多く有するからである。それらの結果も、低いＳＮＲにおいて低いＱＡＭ次数の結果に収斂する。

【００６７】

最適化されたコンステレーション位置を見ることでより高い見識が得られ、６４－ＱＡＭについては図１２をそして２５６－ＱＡＭについては図１３を参照されたい。

【００６８】

図１２は、６４－ＱＡＭのＢＩＣＭが異なるＳＮＲにおいて最適化されたときに最適なコンステレーションスポット位置がどのように変化するか示している。値｛１、３、５、７｝における格子線は、それらが従来の均一の６４－ＱＡＭにおいてどこに存在するか思い出させる。簡単化のため、最も内部の位置は、最適化されるべきパラメータの数を最小にするために±１に保持されることを想起されたい。高いＳＮＲでは、それらの位置は、実際に、均一なＱＡＭ値｛１、３、５、７｝に向かって収斂することが明らかである。低いＳＮＲ、７ｄＢでは、それが非均一の１６－ＱＡＭへ完全に収斂されることが明らかである。これら両極端間では、先ず、低いＳＮＲにおいて若干押しつぶされたコンステレーションを見、次いで、｛α、β、γ｝の全部が均一のＱＡＭ値を越えた後に再び減少するような拡張コンステレーションを見る。

【００６９】

図１３は、異なるＳＮＲにおいて２５６－ＱＡＭのＢＩＣＭが最適化されるときに最適なコンステレーションスポット位置がどのように変化するか示している。図１１の容量曲線へ戻ると、最適化された非均一２５６－ＱＡＭは、例えば、１３ｄＢ　ＳＮＲより高いＳＮＲに対して均一の２５６－ＱＡＭ及び最適化された非均一の６４－ＱＡＭの両方に勝る顕著な有益さを与えながらも、それより低い最適化された非均一な６４－ＱＡＭに勝る控え目な有益さも与えることに注意されたい。図１３は、多数の異なる領域を示す。非常に高いＳＮＲでは、コンステレーションは、均一な２５６－ＱＡＭコンステレーションに接近しようとする。例えば、ほぼ２０ｄＢのＳＮＲでは、コンステレーションが外部位置において最も伸張されることが分かる。ＳＮＲがそれより減少すると、コンステレーションが圧縮され、そしてＳＮＲが減少するにつれて、幾つかのポイントが合併し始め、そして分離して他のものと再合併する。この若干混同する振る舞いは、数値最適化、又は多数の解決策の存在のアーティファクトであると考えられる。例えば、最適化の初期条件を単に変更するだけで、得られる容量を変更せずに、８ｄＢのＳＮＲの場合に、位置に関して異なる例外的な結果を得ることができる。

【００７０】

それでも、コンステレーションは、実際に、ＳＮＲが減少するにつれて、そのポイントの数を、２５６－ＱＡＭから、約７ｄＢのＳＮＲにおいて最終的に非均一の１６－ＱＡＭとなるまで、収縮させることが明らかである。多くの場所では、本質的に１４４－ＱＡＭを有するが、異なるポイントが異なるＳＮＲにおいてそれを形成するようにペアとなり、即ちほぼ１６ｄＢでは、本質的に１９６－ＱＡＭを有する。興味深いことに、完全に６４－ＱＡＭへ崩壊すると思われるポイントはない。最も重要なことは、これらの乱雑な混成は、それらが最適化されたところのＳＮＲにおいて、より「通常」のＱＡＭコンステレーションの場合より大きな容量を得ることである。

【００７１】

提案された更なる改良

高次のコンステレーションに対して外部ポイント比を計算することは、計算上複雑になり、潜在的に、計算上不可能であることが明らかである。以上の分析から、あるＳＮＲ範

囲内で、ｎ次のＱＡＭコンステレーションの2^nポイントのフルセットより少ないものに対して比を計算し、次いで、この計算を全ＱＡＭコンステレーションの近似として使用することにより、計算の複雑さを緩和できることが明らかである。

【００７２】

図１４に示す１０２４及び４０９６ＱＡＭに対する幾つかのＳＮＲ値の計算を含むように拡張されたシャノン限界（前記で図１１に示された）に比してＢＩＣＭの容量の不足を再び考える。上述したように、破線は、均一のＱＡＭを表わし、一方、ＳＮＲ毎に最適化された非均一のＱＡＭ（ＮＵＱＡＭ）コンステレーションの対応する結果が、プロットポイントを伴う実線と同じ調子で示され且つ表示される。

【００７３】

１５から２０ｄＢのＳＮＲ範囲において均一の１０２４－ＱＡＭに勝る非均一の１０２４－ＱＡＭにより得られる改良は、かなり実質的なもので、以前に好まれた２５６－ＮＵＱＡＭの先頭に１０２４－ＮＵＱＡＭを入れるのに充分である。これは、均一の２５６－ＱＡＭがこの範囲において均一の１０２４－ＱＡＭより優れた容量を有するという事実に関わらず、そのようになる。（均一の１０２４－ＱＡＭを適用する「自然」の範囲は、より高いＳＮＲとなる。）実際に、制約のないシャノン限界からの不足は、せいぜい、１６．５ｄＢのＳＮＲにおいて０．１２３ビット／記号程度に減少される。２５６－ＮＵＱＡＭにわたる利得は、より高いＳＮＲでは更に増加するが、不足も増加し、これは、高次のＮＵＱＡＭが、今や、図示された４０９６－ＱＡＭのような最良の選択肢として引き継がれることを示唆する。不足曲線は、ある珍しい細部を有し、約１６．５ｄＢのＳＮＲにおいて不足が最小になるが、異なる振舞いゾーンがあるかのように曲率が符号を変化させる他のポイントもある。

【００７４】

１０２４－ＱＡＭに対するＳＮＲ毎の比最適化コンステレーション位置を計算する結果が図１５に示されている。上述したように、内部ポイントは、位置１にあると思われ、他の全ての位置は、１に対する比として表わされる。均一なＱＡＭは、間隔２を有し、シーケンス１、３、５、７、９、１１、１３、１５、１７、１９、２１、２３、２５、２７、３１、３３を与えることを想起されたい。高いＳＮＲ（２４ｄＢ以上）では、全てのコンステレーションポイントが個別であり、従って、それらが、最初に、ある程度一緒に圧縮されたとしても、実際には、本物の１０２４－ＮＵＱＡＭコンステレーションを有することになる。ＳＮＲが高くなるにつれて、この圧縮は、コンステレーションの拡張へと変化し、ほぼ２７の最大範囲に到達する。ＳＮＲが非常に高くなるにつれて、｛１、３、５、・・・２９、３１｝において水平の格子線で図示された均一なＱＡＭ位置に収斂する位置の明確な符号を見ることができる。

【００７５】

中間ゾーン（ほぼ２０から２４ｄＢ）では、幾つかのスポットが垂直に収斂することが分かる。従って、この範囲では、５７６－ＱＡＭに似たものを有すると考えられる。

・αは、固定位置１でほぼ合併される。
・β及びγは、約３においてほぼ合併される。
・δ及びεは、約５においてほぼ合併される。
・ζ及びηは、値が接近する。
・θ及びＩは、最初に非常に接近し、κ及びλは、あまり接近せず、残りは、全体を通じて充分に個別である。

【００７６】

低いＳＮＲゾーン（ほぼ１５．５から１７．５ｄＢ）では、より多くのスポットが仮想的に収斂したことが分かる。従って、この範囲では、２５６－、４００－及び４８４－ＱＡＭに似たものを順次に有すると考えられる。

・α、β及びγは、固定位置１でほぼ合併される。
・δ及びεは、約３においてほぼ合併され、ζ及びηも、若干大きな値においてほぼ合併される。

・θ及びＩは、ほぼ合併される。
・κ及びλは、非常に接近する。
・μ及びνは、個別であるが、非常に接近し、一方、ξ及びｏは、充分に個別のままである。

【００７７】
しかしながら、これらの記述は、説明の傾向として優れた考え方であり、ポイントは、全て、個別のままである（あるケースでは、多数の小数点以下桁数を見なければならないが）。１６．５ｄＢにおける１０２４－ＮＵＱＡＭの最適化（シャノンからの不足に関する最良の結果）は、２５６－ＱＡＭに「仮想的に」収斂するものとして観察できるが、２５６－ＮＵＱＡＭに勝る明確な容量効果を有することに注意されたい。得られるＳＮＲ毎の最適化１０２４－ＮＵＱＡＭ位置は、むしろ、検査されるＳＮＲ範囲の下限では２５６－ＮＵＱＡＭのみに向かう傾向となり、しかも、計算されるＢＩＣＭ容量は、（図１４に示すように）２５６－ＮＵＱＡＭを直接最適化したときに得られるものより著しく良好であると思われる。

【００７８】
非常に接近しているコンステレーション位置を合併することによりコンステレーション位置の数を徐々に減少すると、コンステレーションが２５６－ＱＡＭと同じ数である２５６位置しか持たないポイントまで位置の数を減少したときでも、予期したように、非常に大量ではなく、それに対応する理論的ＢＩＣＭ容量を減少する、ということを確認するために、計算が遂行される。更に、２５６位置しかもたない場合の低いＳＮＲにおける１０２４ＱＡＭは、２５６－ＱＡＭより優れた容量を発生する。この見かけ上の難題は、計算をどのように遂行するか考えることにより解明ができる。２５６ＱＡＭを最適化する以前の作業では、２５６ＱＡＭ位置への８ビットグレーマップでスタートして、作用の状態を最適化する。現在の作業では、１０２４ＱＡＭ位置への１０２４ビットグレーマップでスタートして、異なる状況を最適化する。従って、あるＳＮＲ範囲では、幾つかの位置が非常に接近し、それらを次々に合併する場合には、最終的に、２５６位置をもつコンステレーションで終了となる。しかしながら、これは、位置の合併により幾つかのビットを非常に悪く弱めるにも関わらず、１０ビットが依然そのコンステレーションにマップされるという点で、異なるシナリオである。完全に排除されるビットはない。

【００７９】
それ故、所与のＱＡＭ次数の全2^nポイントより少ないポイントを使用して計算を遂行してコンステレーション位置を導出することで、少なくとも適度なＳＮＲ範囲において、全次数に対する充分に正確なコンステレーション位置を与えることが示される。放送システムに使用されたときの全次数は、低い次数にわたり容量の改善を与える。この解決策のために凝縮型ＱＡＭという名称を使用し、そして１０２４－ＱＡＭグレーマッピング（この場合は１０コードビット／記号を搬送する）でスタートするが、最適化の前に幾つかの位置を合併し（又は「凝縮」し）、（この例では）２５６個の個別ポイントで終了となるケースに対して１０２４－２５６－ＣｏｎＱＡＭのような表記を提案する。コンステレーションが凝縮されるポイントの数は、２の累乗である必要はない。更に、１０２４－２５６－ＣｏｎＱＡＭのような名前は、シナリオを独特に明示するのに充分ではない。というのは、最適化の前に同じ数の状態まで合併するのに異なる方法を選択できるからである。

【００８０】
先ず、２５６－ＱＡＭを凝縮する例について考える。２５６－ＮＵＱＡＭは、多くの最適化を非常に迅速に試みることができるので、スタートするのに良いところである。設計ＳＮＲを伴う最適化位置の多少「乱雑な」振る舞いは、ある程度の複雑さを招く。というのは、おそらく普遍的に適用できる凝縮パターンが１つもないからである。次のものを示す図１６を参照されたい。

・例えば、１７ｄＢのＳＮＲより上では、全てのポイントが個別であり、従って、充分に機能する凝縮バージョンはない。
・α→１をもつのは、ほぼ１０から１７ｄＢである。

・｛α→１、β→γ｝をもつのは、ほぼ１１から１４ｄＢである。
・｛α→１、δ→｝をもつのは、ほぼ１０ｄＢである。
・｛α→γ、δ→ζ｝をもつのは、ほぼ１０ｄＢより下である。

【００８１】

これは、多数のＣｏｍＱＡＭ変形を試みるように導き、最適化の前に凝縮を課する。
・２５６－１９６－ＣｏｎＱＡＭ、単なるα→１を課する。
・２５６－１４４－Ａ－ＣｏｎＱＡＭ、｛α→１、β→γ｝を課する。
・２５６－１４４－Ｂ－ＣｏｎＱＡＭ、｛α→γ、δ→ζ｝を課する。
・２５６－１４４－Ｃ－ＣｏｎＱＡＭ、｛α→１、δ→１｝を課する。

【００８２】

図１７は、２５６ＮＵＱＡＭのこれらの変形の各々に対する計算されたＢＩＣＭ不足を示す。前記条件を課し、次いで、前記式４から７に基づく数値解決策を使用して合併された変数の最適な位置を計算することにより、計算が遂行される。予想されるように、あるＳＮＲ範囲では、異なるバージョンが最も良く機能する。予想されるように、あまり凝縮されない２５６－１９６－ＣｏｎＱＡＭは、１７ｄＢまで充分に機能し、一方、２５６－１４４－Ａ－ＣｏｎＱＡＭは、例えば、１０．５から１５．５ｄＢまで充分に機能する。２５６－１４４－Ｂ－ＣｏｎＱＡＭは、１０ｄＢより下で最良であり（しかし、それより上では急速に低下し）、一方、本質的に１０ｄＢのみに対して案出された２５６－１４４－Ｃ－ＣｏｎＱＡＭは、実際に、そこで最良であり、１０ｄＢの上下の両方において低下する。要約すれば、２５６－ＣｏｎＱＡＭの正しい特徴を取り上げて、望ましいＳＮＲに一致させる場合に、改善をなすことができる。それでも、正しい選択で、２５６－ＣｏｎＱＡＭは、実際に、その親の２５６－ＮＵＱＡＭの容量に本質的に一致するが、計算のための状態は僅かである。

【００８３】

図１８は、１０２４ＮＵＱＡＭのための種々の凝縮のＢＩＣＭ容量不足を示している。これは、図１７と同じ曲線を含み、２５６－ＮＵＱＡＭに対する曲線に特に注目し、そして１０２４－ＮＵＱＡＭ及び次の凝縮を更に示す。
・１０２４－３２４－ＣｏｎＱＡＭ、
　｛α→１、β→１、γ→１、δ→ε、ζ→η、θ→Ｉ、κ→λ｝を伴う
・１０２４－２５６－ＣｏｎＱＡＭ、
　｛α→１、β→１、γ→１、δ→η、ε→η、ζ→η、θ→Ｉ、κ→λ｝を伴う

【００８４】

１８ｄＢのＳＮＲより下では、１０２４－３２４－ＣｏｎＱＡＭは、１０２４－ＮＵＱＡＭに接近し、一方、より凝縮された１０２４－２５６－ＣｏｎＱＡＭは、１６．５ｄＢより下でのみ、そうである。両方とも、実際上、最適化された１０２４－ＮＵＱＡＭ結果が得られるところの最低値である１５ｄＢにおいて非常に接近する。更に低いＳＮＲでは、２つの凝縮が本質的に一致する。高いＳＮＲ（１８ｄＢより上）では、それらのＣｏｎＱＡＭは、図２の観察から予想されるように、親のＮＵＱＡＭより著しく悪く機能し、ここでは、あまり積極的でない凝縮が必要となる。

【００８５】

更に高いＱＡＭ次数へと概念が拡張される。最終的な例として、図１９及び２０は、各々、凝縮された４０９６－ＱＡＭ及び凝縮された１６３８４－ＱＡＭに対して、ＢＩＣＭ不足をＳＮＲと共に示している。４０９６－９００－ＱＡＭは、１８及び２０ｄＢにおける４０９６－ＮＵＱＡＭの位置を知って設計されたものである。これは、２０ｄＢ以下で４０９６－ＮＵＱＡＭに厳密に一致する。より高いＳＮＲでは、あまり凝縮されない４０９６－１９３６－ＱＡＭが、少なくとも２５ｄＢまで、及びおそらくそれ以上において、４０９６－ＮＵＱＡＭに一致する。実際に顕著なことは、４０９６－ＮＵＱＡＭ及び４０９６－９００－ＣｏｎＱＡＭの両方がいかに良好に機能して、特に、２１ｄＢ　ＳＮＲにおいて１０２４－ＱＡＭ及びそれより低いコンステレーションの容量不足を著しく減少するかである。又、均一の４０９６－ＱＡＭが図の左上隅に遠い見掛けでのみ入れられるこ

とを観察し、適用のためのその自然の場所は、非常に高いＳＮＲであり、即ちそのような高次のコンステレーションを、有用な「通常」のＳＮＲにおいて１にもっていくのはＮＵＱＡＭ最適化だけである。

【００８６】

１６３８４－ＮＵＱＡＭを直接最適化することは、計算上費用がかかり、潜在的に現在不可能である。しかしながら、凝縮型ＱＡＭを充分厳密な近似として使用するという改善は、ある限定された見識を得るある機会を、１６３８４－ＮＵＱＡＭがどのように機能するかに向けて抱かせる。関心のあるＳＮＲにおいてどんな適当な凝縮を適用するかに関してすばらしい推測を行わねばならないだけである。そうすれば、ＢＩＣＭについて最適化を行うことができる。これは、その凝縮について有効であり、１６３８４－ＮＵＱＡＭの性能が同じであるか又はそれ以上になると推測できる。図２０は、４０９６－ＮＵＱＡＭ又はＣｏｎ－ＱＡＭに勝る更に顕著な改善を実際上達成する種々の試験的凝縮を示す。

【００８７】

更に別の規範的コンステレーション

上述したように、ＣｏｎＱＡＭでは、コンステレーションにおける個別の位置の数を最適化の前に意図的に減少する（コンステレーションを凝縮する）一方、同じ数のビットをそれに対してマップする。これは、最適化を遂行するのに必要な計算パワーを減少する。適当な充分に選択された凝縮は、ＣｏｎＱＡＭが導出されたところのＮＵＱＡＭに本質的に等しい容量を与える（適当なＳＮＲ範囲内で）ことが確立される。適当な凝縮を選択できるならば、直接的なＮＵＱＡＭ最適化が現在実現不能であるところの非常に大きな親コンステレーションに対応するＣｏｎＱＡＭの設計を生成できることが更に明らかである。それらの計算上の容量は、関連するＮＵＱＡＭの容量の下限を表わす。凝縮が充分に選択された場合には、それが非常に厳密な境界となるが、そうでなければ、真のＮＵＱＡＭ容量は、著しく高くなる。いずれにせよ、制約のないシャノン限界に対してより厳密な解決策を示す「良好な」結果は、非常に関心の高いものである。

【００８８】

１６３８４－ＱＡＭの凝縮である種々のＣｏｎＱＡＭの結果を以上に述べたが、その容量は、４０９６－ＮＵＱＡＭに対して確立されたものより有用に大きいことが示された。従って、ＣｏｎＱＡＭは、最初、実際に直接最適化できない非常に大きなＮＵＱＡＭのＢＩＣＭ容量を確立できる１つの方法と考えられた。しかしながら、それは、自身の能力で用途を有する。あるケースでは、ＣｏｎＱＡＭは器械的簡単化を導く。以上に述べた容量は、単一のＳＩＳＯガウスチャンネルを経ての送信に使用される矩形ＱＡＭコンステレーションの容量を最適化することに関する。現在、ＭＩＭＯシステムに多くの関心がもたれている。現在、原理的に、ＭＩＭＯシステムに含まれたチャンネルが正確に分かっているとすれば、ある変調システムは、その状況に対して最適なＭＩＭＯ容量を与えるものがおそらく案出される。しかしながら、放送においては、そのように機能することができない。というのは、同じ送信が、非常に多数の受信器に同時にサービスするのに使用され、各受信器は、異なる条件において異なるチャンネルで動作しているからである。それ故、真のＭＩＭＯ最適化は、現実的ではない。それ故、各送信コンポーネントのＳＩＳＯ容量を最適化するように試みる解決策、せめて、種々のＭＩＭＯ経路が完全に個別であるときに最良の結果を生じる解決策が認識される。従って、放送の用途では、ＮＵＱＡＭ／ＣｏｎＱＡＭ概念をＭＩＭＯシステムに適用することがおそらく有用と思われる。現在、ＭＩＭＯ受信器においてデコーディングを行う少なくとも１つの方法において、ＣｏｎＱＡＭにより与えられるコンステレーション濃度の減少は、ＭＩＭＯデコーディングに必要なサーチスペースを著しく減少でき、ひいては、特に、非常に大きなコンステレーションが要求される場合には、受信器の複雑さ及び電力消費を著しく減少できる。従って、ＣｏｎＱＡＭを自身の能力で使用するという非常に良い理由ができる。更に別のコンステレーション例は、ここでは、当該範囲の両極端において、ＣｏｎＱＡＭのＢＩＣＭ容量に対して幾つかの新たな結果を表わしている。高いＳＮＲ端における壮烈な巨大なコンステレーションにおいて、３６００、４０９６、４９００又は５４７６ポイントに凝縮される６５５３６

－ＱＡＭのような大きなコンステレーションの使用により最終的な容量が拡張される。他方、１０２４－ＱＡＭから２６２１４４－ＱＡＭの親コンステレーションに対して、１００又は１４４ポイントのみに凝縮するための結果も表わされる。それらは、ＭＩＭＯ受信器を簡単化するために状態の数を厳密に最小化するときに、何が可能か調べるために試験される。全てのケースにおいて、ＡＷＧＮチャンネルが仮定される。

【００８９】

前記結果は、大きなＮＵＱＡＭが自然に現れて１６－ＮＵＱＡＭ及び最終的に（均一の）４－ＱＡＭへ崩壊するところの非常に低いＳＮＲ以外において、凝縮があまり「緊密」でないＮＵＱＡＭ又はそれらのＣｏｎＱＡＭ代替物のいずれかである「大きな」コンステレーションが常に現れて、「小さな」コンステレーションより良好な容量を与えることを示している。しかしながら、「大きなものが良い」ことは、高いＳＮＲにおいて特定の力で適用される。その簡単な理由は、例えば、１０２４－ＱＡＭは、無限のＳＮＲにおいて１０ビット／記号の限界容量を有し、一方、制約のないシャノン容量はＳＮＲと共に増加し、従って、例えば、１０２４－ＱＡＭ（及び各限定サイズのＱＡＭ）を後に残すことである。従って、例えば、１５ｄＢより上のＳＮＲ範囲を見た場合に、各々の次々に大きなＮＵＱＡＭが制約のないシャノン限界により近付くビットを得、そしてその小さな先駆体より高いＳＮＲへとそれを行い続けることが分かる。各サイズは、最終的に、究極値から迅速に降下するＳＮＲに到達し、そしてそれより高いＳＮＲへ良好に至り、より大きなＮＵＱＡＭへ進む。ここに述べる最大のＮＵＱＡＭは、４０９６－ＮＵＱＡＭであるが、次に最も大きな１６３８４－ＱＡＭの凝縮に対する結果も得られ、これは、１５ｄＢからアップ方向に着実により顕著な性能改善を示す。実際に、１６３８４－３６００Ｘ１－ＣｏｎＱＡＭは、２９ｄＢより上でその性能が下降し過ぎる前に２７から２８ｄＢにおいて局部的に良好な振舞いのフレッシュローブ(fresh lobe)を導入する。ここで、おそらく、ある程度の最終的容量限界が生じる。というのは、３６００ポイントへの凝縮は、より緊密に凝縮された１６３８４－１１５６Ｙ１－ＣｏｎＱＡＭがその限界に若干早目に到達したかのように、「緊密」になり過ぎる。しかしながら、ＮＵＱＡＭ結果（及び手前の段落の理由）から、最終的に、次に大きなコンステレーションが必要になることが分かる。

【００９０】

６５５３６－ＣｏｎＱＡＭ

上述したように、ＮＵＱＡＭに対して結果が得られる場合には、４０９６－ＮＵＱＡＭまで、凝縮を選択するのは容易である。コンステレーションのどのポイントが当該ＳＮＲにおいて合併する傾向があるか単に観察し、そして最適化を遂行する前にそれらのポイントが正確に凝縮されるような凝縮を定義する。これは、コンステレーションが非常に大きくてＮＵＱＡＭを直接最適化できないときに困難になる。インスピレーション及び試行錯誤の組み合わせを使用しなければならない。良好なものが見つかると、その結果が、それ自体を物語る。もちろん、そのようなＣｏｎＱＡＭ結果は、まだ試みていない「良好」な凝縮があることが常に考えられるので、潜在的なＮＵＱＡＭ性能の下限に過ぎず、そしてこれは、コンステレーションが大きくなり、その結果、考えられる凝縮の数が急増するにつれて、より大きな力で適用される。凝縮を簡単に述べても、コンステレーションのサイズが増大して目で見ることが困難になるにつれて、益々難題となる。先ず初めに、小さなコンステレーションでは、凝縮ルールを、例えば、次のように直接記述できる。

２５６－１４４Ａ－ＣｏｎＱＡＭの｛α→１、β→γ｝

【００９１】

物事が複雑になるにつれて、原点から外方に作用して、各ＣｏｎＱＡＭポイントを形成するように凝縮されたＮＵＱＡＭにおける隣接ポイントの数をリストする。例えば、１６３８４－５７６Ｚ１－ＣｏｎＱＡＭの凝縮は、｛１６、１６、８、８、４、４、２、２、１、１、１、１｝と書き表すことができる。エントリの数は、１つのコンステレーション軸の片側における凝縮ポイントの数である（即ち、ＰＡＭコンステレーションのサイズの半分、又は全ＣｏｎＱＡＭコンステレーションにおけるポイントの数の平方根の半分）。従って、このようなリストは、大きなＣｏｎＱＡＭでは扱い難く、どれほど多くの８、４

、等が互いに隣接しているか目で捉えることは困難である。おそらく有用な更に別の省略表現は、この例について、各々｛１６、８、４、２、１｝隣接ポイントの｛２、２、２、２、４｝グループがあると言うことである。６５５３６－ＣｏｎＱＡＭについて何を試みるべきであろうか。１つの可能性は、発生される最大の１６３８４－ＣｏｎＱＡＭと同じであるように、３６００位置への凝縮で何が行えるか調べることである。これは、良好な選択であることが明らかである。というのは、最適化の複雑さが広く類似し（自由変数の数は同じであるが、被積分関数は若干複雑である）、従って、１６３８４－３６００を行うことができれば、リソースと共に取り扱いできるからである。それが高いＳＮＲにおいて若干の「緊密さ」を与えるかどうか疑問であるが、これについて以下に詳細に述べる。

【００９２】

６５５３６－３６００－ＣｏｎＱＡＭ

試みられる第１の考え方は、６５５３６－３６００Ａであり、これは、各々｛１６、８、４、２、１｝隣接ポイントの｛１、９、５、５、１０｝グループを有する。ＳＮＲ範囲のある部分では、これは、１６３８４－ＣｏｎＱＡＭより下級であり、従って、それ以上追求されなかった。１つの考え方として、おそらく原点付近の１６ポイントのグループは過剰であり、従って、試みられた構成６５５３６－３６００Ｂは回避された。｛８、４、２、１｝ポイントの｛１１、５、６、８｝グループもある。｛１６、８、４、２、１｝隣接ポイントの｛３、５、４、６、１２｝グループをもつ６５５３６－３６００Ｃで更に有望な結果が得られている。２３ｄＢのＳＮＲにおいて価値のある改善が注目されるが、その後は、容量不足が着実に増加している。１６３８４－３６００－ＣｏｎＱＡＭは、２８ｄＢ付近で若干優れた性能の別のローブをもつように管理されるが、６５５３６－３６００Ｃは、そうではなく、おそらく、より多くのポイントを伴うあまり「緊密」でない凝縮が利益をもたらすことが示唆される。従って、４０９６ポイントへの凝縮で試みた（最適化すべき独立変数の数は、４０９６－ＮＵＱＡＭと同じである）。

【００９３】

６５５３６－４０９６－ＣｏｎＱＡＭ

６５５３６－３６００Ｃのどの部分が「緊密」過ぎるか直ちに分からず、従って、若干大きな６５５３６－４０９６Ａ－ＣｏｎＱＡＭでの最初の試みについては、１６の一方を２つの８に及び最も外側の対を２つの単一物に分割して、｛１６、８、４、２、１｝隣接ポイントの｛２、７、４、５、１４｝グループを与えることにより「内側」及び「外側」の両方を若干弛緩させるように試みた。これは、高いＳＮＲ性能が低下する割合が若干落ち着くという点で高いＳＮＲにおいて若干の改善を与える。スポット位置を見ることで、単一物の２つの対がおそらく再合併され、ポイントの数を同じに保ちながら、大きなグループの幾つかを分割できるようにする。従って、これは、｛１６、８、４、２、１｝隣接ポイントの｛１、８、６、７、１０｝グループを有する６５５３６－４０９６Ｂ－ＣｏｎＱＡＭへと導く。これは、高ＳＮＲの性能を更に改善するが、良好な性能形成の別のローブの符号もないし、最も高いＳＮＲで１６３８４－３６００－ＣｏｎＱＡＭをビートすることもない。

【００９４】

６５５３６－４９００－ＣｏｎＱＡＭ

更なる改善のための要望は、より多くの凝縮ポイントが、１６の最も内側のグループを２つの８へオープンし、そして２つの最も外側の８も分割することを試みるように導く。これは、｛８、４、２、１｝隣接ポイントの｛８、１０、７、１０｝グループを有する６５５３６－４９００Ａ－ＣｏｎＱＡＭを与える。これは、ここで、２８ｄＢ付近で良好な性能の期待された特別なローブを発生し、従って、６５５３６－４０９６Ｂ－ＣｏｎＱＡＭ及びもちろん１６３８４－３６００Ｘ１－ＣｏｎＱＡＭに対する大きな改善を表わす。

【００９５】

６５５３６－５４７６－ＣｏｎＱＡＭ

次いで、グループの２つを分割することにより何が得られるか調べるために有望な６５５３６－４９００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ凝縮を更に若干弛緩するように試みた。スポット位置

の振舞いに基づき、｛８、４、２、１｝隣接ポイントの｛８、９、８、１２｝グループを有する６５５３６－５４７６Ａ－ＣｏｎＱＡＭを試みた。これは、低下の割合が非常に僅かに減少されるところの最も高いＳＮＲを除いて非常に類似した性能を与え、分割されたグループが、それらの最も高いＳＮＲで６５５３６－４９００Ａ－ＣｏｎＱＡＭにおいて実際上若干「ピンチである」ことを確認する。

【００９６】

高いＳＮＲにおける種々の６５５３６－ＣｏｎＱＡＭ凝縮の結果

６５５３６－ＱＡＭのこれらの種々の凝縮の結果が、ＳＮＲの関数として制約のないシャノン限界からのＢＩＣＭ容量の不足を表わす先の図に続く図２２に示されている。実線及びプロットポイントは、ＮＵＱＡＭを表わし、一方、ＣｏｎＱＡＭは、オープンプロットポイントマーカーを伴う破線を有するという点で、前記と同じ表記が使用される。高いＳＮＲでは「大きい方が良い」という以前の主張が維持されると思われる。６５５３６－ＱＡＭの凝縮は、それまでに見つかった全ての「小さな」コンステレーションよって全てのＳＮＲにおいて一貫してアウトパーフォームであるが、特に、最も高いＳＮＲの範囲においてそうであるものが見つかっている。最後に凝縮された変形６５５３６－４９００Ａ及び６５５３６－５４７６Ａで最終的に発見された「特別のローブ」は、高いＳＮＲに対する良好な性能の範囲を以前より拡張する。不都合なことに、これを達成するには、以前より多くのポイントを有するＣｏｎＱＡＭが必要であると思われる。それでも、４９００は、６５５３６より相当に少ない。結果は、全て、２４ｄＢ以下に収斂し、３６００ポイントへの凝縮は、この低い範囲において充分であり、そして実際には、低いＳＮＲにおいて、より緊密な凝縮でおそらく充分である。

【００９７】

コンパクトなＣｏｎＱＡＭ及びＭＩＭＯ

本章の初めに述べたように、放送ＭＩＭＯの用途では、凝縮型ＱＡＭを使用して、それが搬送する合計送信個別ポイント、従って、デコーディングの複雑さを減少するのが魅力的である。更に、デコーディング技術の現状では、ポイントの数が極めて少ないことが望まれる用途がある。それ故、これは、大きいＮＵＱＡＭの使用に対し、それらの容量効果にも関わらず、単にそれらが大きいために、反対の主張をする。しかしながら、凝縮型ＱＡＭは、少数のポイントで大きなコンステレーションの性能効果の幾つかを有する可能性をもたらす。前章では、高いＳＮＲにおいて特定の力でこれが生じることが示されているが、凝縮型ＱＡＭは、現在技術のＭＩＭＯデコーダのために快適でないほどの多数の個別のポイントを依然使用するものもある。それでも、関心のある低いＳＮＲ範囲での利用がある。幾つかの有用なＣｏｎＱＡＭが見つかるであろうか。２５６ポイントより少ないが、望ましくは、２５６－ＮＵＱＡＭより優れた性能をもつ何かが必要であると仮定する（即ち、優れた性能と低い複雑さを同時に貪欲に探す）。そのような凝縮はどの程度までであり、次々に大きな親コンステレーションにいつ適用され、依然極端に決済するであろうか。過去の結果から、緊密な凝縮は、高いＳＮＲにおけるそれらの限界を示し、そして逆に、特定のＮＵＱＡＭの緊密な凝縮は、ＳＮＲが減少するにつれて可能となる傾向があることが分かる。しかしながら、ここで、若干異なる質問があり、即ちある低いＳＮＲ範囲において固定数の凝縮ポイントを保持すると仮定し、親コンステレーションのサイズと共に容量はどのように変化するであろうか。

【００９８】

凝縮を構成する方法

ここで、ちょうど１００又は１４４ポイントに凝縮されたＣｏｎＱＡＭのある試験について報告する。１００個の凝縮されたポイント、即ち１０×１０又は単一（ＰＡＭ）軸の片側に５ポイントを有するＣｏｎＱＡＭについて考える。これは、実際には、全部で６４ポイントか又は軸の片側に４ポイントを有するコンステレーションからの次に考えられるサイズである。２５６－ＱＡＭである次に大きな「矩形」ＱＡＭについて考える。各隣接対が１つのポイントに凝縮されるようにそのポイントを凝縮する場合には、｛２、２、２、２｝ポイントとしてグループ編成されたポイントを有し、そしてもちろん、ＬＳＢへマ

ップされるコードビットが実際には送信されないので同じ性能での、６４－ＮＵＱＡＭへの厳密な崩壊を表わし、このコードビットは、どんなポイントが送信されたかに影響するものではない。従って、この考えられる実験は、６４へ崩壊した２５６－ＱＡＭ(256-collapsed-to-64-QAM)を見かけ上若干無用に構成した。

【００９９】

しかしながら、ここで、このグループ編成を若干変更し、そして｛２、２、２、１、１｝を考えた場合には、有効な２５６－１００ＱＡＭを有し、即ち軸の片側に５ポイントがあり、そして「６４へ崩壊した２５６－ＱＡＭ」の最も外側の状態は、２に分割されている。ＬＳＢコードビットは、ここで、幾つかの時間、何かを行い、従って、６４－ＮＵＱＡＭに比して、ＢＩＣＭ容量の増加を期待する。このルールをｘｘｘ－１００－ＣｏｎＱＡＭの大きな親へと拡張することができる。先ず、２の適当な累乗の隣接ポイントを一緒にグループ編成して、「ｘｘｘ－６４－ＣｏｌｌａｐｓｅｄＱＡＭ」を形成し、次いで、最も外側の状態から１つの独特の位置を分割する。これは、小さなテーブルに良好に表現される。

ＣｏｎＱＡＭ	ポイントグループ
１０２４－１００Ａ	{４、４、４、３、１}
４０９６－１００Ａ	{８、８、８、７、１}
１６３８４－１００Ａ	{16、16、16、15、１}
６５５３６－１００Ａ	{32、32、32、31、１}
２６２１４４－１００Ａ	{64、64、64、63、１}

【０１００】

同様に、以上のテーブルにおける次に最も外側のグループを同様に分割することにより１４４ポイントへの次に最も大きな凝縮の形態を構成することができる。

ＣｏｎＱＡＭ	ポイントグループ
１０２４－１４４Ａ	{４、４、４、２、１、１}
４０９６－１４４Ａ	{８、８、８、４、３、１}
１６３８４－１４４Ａ	{16、16、16、８、７、１}
６５５３６－１４４Ａ	{32、32、32、16、15、１}
２６２１４４－１４４Ａ	{64、64、64、32、31、１}

【０１０１】

ここで、それらがいずれにせよ有用な選択であるかどうかに関わらず、それらを試みることにより決定しなければならない。それらは、以前に観察された振舞いのある「ルール」に従うと思われる。

・最も外側のポイントは、通常、ＳＮＲが低下するとき最後に合併され、換言すれば、外側にシングルトンポイントをもつことが良い考え方である。

・内側のポイントが収斂するとき、それらは、しばしば、2^kポイントを含むグループにより収斂すると思われ、大きなグループほど、原点から遠のくのではなく、近付く。

【０１０２】

他方、親のサイズが増加するにつれて、外側のシングルトンから、次に最も外側のポイントを含む次第に大きなグループへと若干際立った変化があることが観察されねばならない。他にも良い解決策が存在する。しかしながら、４０９６－１００－ＣｏｎＱＡＭを取り扱う多数の異なる方法が試みられ、テーブルに示された構成は、少なくともそれらの間で最良のものである。その結果は、関心のあるパターンをたどり、これについて段階的に検討する。

【０１０３】

非常に低いＳＮＲにおける結果

非常に低いＳＮＲにおける結果は、関心のある且つ簡単なパターンをたどる。図２３は、（ガウスチャンネルに対する）制約のないシャノン限界からのＢＩＣＭ容量の不足を、１００の凝縮ポイントを有する種々のｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭについて（上の図）及びｘｘｘ－１４４Ａも追加したものについて（下の図）示している。先ず、一種の基準をセットするために、種々のＮＵＱＡＭ（１６－、６４－及び２５６－ＮＵＱＡＭ）が実線で示されていることに注意されたい。更に、丸いマーカー付の破線プロットは、種々のＣｏｎＱＡＭに対するものである。上方のそのようなプロットは、軽く凝縮された１０２４－３２４－ＣｏｎＱＡＭに対するものである。このＳＮＲ範囲では、これを、１０２４－ＮＵＱＡＭの良好な予想として考えることができる。これらの中で、予想通り、全てが合併される約７ｄＢのＳＮＲまでは、「大きい方が良く」、大きいものは、全て、１６－ＮＵＱＡＭへ崩壊することが分かる。丸いマーカー付きの下方の破線プロットは、比較的軽く凝縮された１６３８４－３６００－ＣｏｎＱＡＭに対するものであり、これは、この範囲における１６３８４－ＮＵＱＡＭに対する良好な予想と考えられる。これらの結果は、これが合併するところを見るためＳＮＲを充分低く拡張せず、おそらく、７ｄＢより下を見ている。ここでは、図２３の上のグラフを参照し、方形のマーカー及び破線で全てプロットされた種々のｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭで何が起きるか考える。これらは、もちろん、それが導出されたＮＵＱＡＭより悪く（又はせいぜいそれと同じに）遂行される。これは、１０２４－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭについて言えることが明らかであり、又、これは、７．５ｄＢにおいて２５６－ＮＵＱＡＭを接合するものであることが明らかである。それが生じるとき、ここには４０９６－ＱＡＭのプロットがないが、その緊密な新たな凝縮４０９６－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭは、１０２４－１００Ａより優れており、７ｄＢより若干下の１６－ＮＵＱＡＭへ崩壊するだけであることが分かる。同様に、１６３８４－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ、６５５３６－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ及び２６２１４４－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭは、ＳＮＲが更にダウンして、最後にほぼ５．５ｄＢになると、順次に崩壊する。従って、ちょうど１００ポイントまでの緊密な凝縮のこの範囲のみを考慮して、非常に低いＳＮＲに対して、最も大きな親のＱＡＭを使用して１００ポイントＣｏｎＱＡＭを導出するのが効果的である。

【０１０４】

しかしながら、それらの中では「大きい方（親）が常に良いのではない」。最も大きな２６２１４４－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭを見て、ＳＮＲのアップ方向にそれをたどると、次に小さな親（６５５３６－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ）が好ましいものとなるポイント（６．５と６．７５ｄＢとの間）に到達する。次いで、順次に、１６３８４－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ、ほぼ７．２５ｄＢへ、次いで、４０９６－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ、８ｄＢの直下へ、そして１０２４－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭ、９ｄＢの直下へ、再びハンドオーバーする。従って、これらの小さな等しいサイズのＣｏｎＱＡＭは、ここでは、ＵＱＡＭについて見られる関心のあるパターンを逆にたどる。以前はＳＮＲが増加するにつれて、ＵＱＡＭの増加するサイズが交互に最良となり、ここでは、低いＳＮＲにおいて、小さなｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭで、親のＱＡＭサイズの逆の順序で順次に最良となることが分かる。驚くべきことではないが、以上の結果から、高いＳＮＲでは、特定の親ＱＡＭが益々緊密に凝縮されるにつれて、性能が低下することが分かる。明らかなように、非常に低いＳＮＲでは、１００ポイントに凝縮される巨大な親は、同様に凝縮される小さな親よりアウトパーフォームであるが、ＳＮＲが増加するにつれて、この緊密な凝縮の歪が現れるポイントに至る。これが生じると、次に小さな親は、あまり厳しい「ピンチを感じず」、従って、暫くの間、勝利し、等々となる。図２３の下のグラフは、ｘｘｘ－１４４Ａの結果の追加を、ダイヤモンドマーカーを伴うマッチングシェードで示している。これは、読み取りをし難くする。入念な調査で、この僅かに多く弛緩された凝縮が各々の場合に若干良好に機能することが示される。これは、（低いＳＮＲにおいて）１０２４－及び４０９６Ａ－１４４－ＣｏｎＱＡＭについては、極めて明確であるが、より大きなものに

ついては、かろうじて分かるほどである。（順次に最良になる）同じパターンがｘｘｘ－１４４Ａ－ＣｏｎＱＡＭの間に適用される。というのは、それがｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭの間で行われるからである。ＳＮＲが増加するにつれて、同じ親サイズからのＣｏｎＱＡＭの－１００Ａバージョンと－１４４Ａバージョンとの間に大きな相違が現れることが明らかである。例えば、２６２１４４－ＣｏｎＱＡＭでは、例えば、８ｄＢより上で極めて明白であり、２６２１４４－１４４Ａが２６２１４４－１００Ａを明確にビートする。

【０１０５】

厳密に調査すると、図２３は、ＳＮＲが増加するにつれて低いＳＮＲで観察される振舞いの簡単なパターンが破壊し始めることを既に明らかにしている。それ故、図２４においてこれを検査するため別の１組の曲線が発生された。図２３と同じ曲線形式が使用され、従って、方形及びダイアモンドを伴う曲線は、前記のように、各々、ｘｘｘ－１００Ａ、及びｘｘｘ－１４４Ａである。各ＣｏｎＱＡＭは、最終的に、（制約のないシャノン容量に対して）曲線が鋭く上方にターンしそして性能が低下するＳＮＲに到達する。これは、多かれ少なかれ予想される順序で生じ、親のコンステレーションごとに、より多く凝縮されたｘｘｘ－１００Ａは、若干少なく凝縮されたｘｘｘ－１４４Ａ「兄弟」より低いＳＮＲにおいて上方にターンする。ｘｘｘ－１００Ａセットの中で、最も大きな親をもつＣｏｎＱＡＭは、最初に、上方にターンし、次いで、他のものは、親サイズが減少する順序でターンし、図示された最も小さいもの（１０２４－１００Ａ）は、最後にフェイルし、最も高いＳＮＲではそれらの間で最良となる。ｘｘｘ－１４４Ａセットの間にも同じルールが適用される。しかしながら、一般化し過ぎないように注意しなければならない。いかなる特定のＳＮＲの動作ポイントでも、最良の性能をもつものを取り上げて適用するように注意しなければならない。真の最良の性能は、もちろん、真の最大の親から得られる最小凝縮バージョンによって与えられ、即ちここでの結果の中で、それは、１６３８４－３６００－ＣｏｎＱＡＭとなる。しかしながら、（例えば、ＭＩＭＯ受信器を簡単化するために）コンパクトなコンステレーションを必要とする場合に、ＣｏｎＱＡＭは、有用な解決策を確実に与えることができ、例えば、図２４を使用して、正しい選択肢を選ぶだけである。一例を挙げるため、１１ｄＢのＳＮＲにおいてコンパクトなＣｏｎＱＡＭを必要とすると仮定する。このケースでは、１００ポイントを必要とする場合に、最良のものは、４０９６－１００Ａであり、それに続いて、１６３８４－１００Ａ、１０２４－１００Ａ、６５５３６－１００Ａの順序であり、そして最後の２６２１４４－１００Ａは、最も悪いものである。１４４ポイントを必要とする場合には、最良のものが４０９６－１４４Ａであり、それに続いて、１６３８４－１４４Ａ、６５５３６－１４４Ａ、１０２４－１４４Ａ（まさに悪い、１００Ａの順序とは逆）の順序であり、そして最後の２６２１４４－１４４Ａは、最も悪いものである。より広く見ると、４０９６－１００Ａは、１０ｄＢから約１３．３ｄＢまで最良のｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭである。そのＳＮＲより上では、１０２４－１００Ａが勝ちとなり、それより下では、約８．８ｄＢから１０ｄＢまで勝ちである。他方、４０９６－１４４Ａは、約９．８ｄＢから約１６．７ｄＢまでの広い範囲にわたって最良のｘｘｘ－１４４Ａ－ＣｏｎＱＡＭである。１０２４－１４４Ａは、この範囲より上及びこの範囲の直下で勝ちとなる。更なる有用な比較は、ｘｘｘ－１００Ａ－ＣｏｎＱＡＭの少なくとも１つが約１３．８ｄＢまでＳＮＲごとに２５６－ＮＵＱＡＭをビートすることに注目することである。ｘｘｘ－１４４Ａ－ＣｏｎＱＡＭの１つ以上は、全ＳＮＲ範囲にわたって２５６－ＮＵＱＡＭをビートする。換言すれば、ＣｏｎＱＡＭでは、ケーキを食べ且つそれをもつこともでき、即ち複雑さの減少（ＭＩＭＯでは、少なくとも、凝縮されるコンステレーションポイントを少なくすることにより）と、優れた容量とを同時にもつことができる。

【０１０６】

結論

ＣｏｎＱＡＭが、あるＳＮＲ範囲にわたりそのベースであるＮＵＱＡＭスキームと同様のＢＩＣＭ容量を達成し、即ちコンステレーション内のあるポイントが同じ位置に来るよ

う制約されることを示した。従って、ＣｏｎＱＡＭスキームは、ＮＵＱＡＭに対する近似として使用されて、「全」ＮＵＱＡＭスキーム（2^nの個別のコンステレーション位置を伴う）を使用するか、又は実際に、ＣｏｎＱＡＭスキームは、それ自身の権利（2^nより少ないコンステレーション位置を伴う）で使用されてもよい。種々のＱＡＭスキームに対するここに提案する更に別の改善により決定されるコンステレーションポイントの位置を与えるテーブルがアペンディックスＡに示されている。

【０１０７】

総括として、図１８において明らかなように、ＢＩＣＭ最適化された１０２４－２５６－ＣｏｎＱＡＭは、ＢＩＣＭ最適化された２５６－ＱＡＭに勝る改善を与える。これは、最初は、両方のスキームが２５６個のコンステレーション位置を有するので驚く結果である。これが意味するものは、２５６個の位置が等しい確率で生じないことである。得られる改善は、コンステレーション位置が最適化されるところの順方向エラー修正器（ＦＥＣ）及び設計ＳＮＲの組み合わせに関する。

【０１０８】

本発明の実施形態を使用して得られる改善のある説明は、図２１を参照して受信器及び受信器メトリックの動作を考慮することによってなされる。ソフト判断を使用する受信器は、対数尤度比ＬＬＲとして知られたものを計算する。どんな電圧ｙが受け取られるか分かると、受信器は、次いで、その情報から、０又は１が送信される見込みを推測する必要があり、そしてそれらの比の対数がＦＥＣデコーダ（図２のエラー修正ブロック１２０）へ供給されるソフト判断メトリックとして得られる。

【０１０９】

対数形態の使用は、便利である。というのは、例えば、ビタビデコーダの実施において確率の乗算を簡単な加算で達成できるからである。簡単な２レベルシグナリング（４－ＱＡＭのような）では、ＬＬＲは、（直線的な）ＳＮＲに比例する勾配をもつ電圧ｙの一次関数であることが容易に示される。高次のＱＡＭでは、物事がより複雑になる。非常に高いＳＮＲでは、ＬＬＲは、ここで、区分的線型形態をとるが、低いＳＮＲでは、より「曲線的」となる。全体的な「利得」は、４－ＱＡＭのように、依然ＳＮＲと共に変化する。それ故、異なるＳＮＲにおいて計算されるメトリックと比較したときに、ＬＬＲがＳＮＲで除算される正規化メトリックを考えるのが有用である。これは、曲線の度合いを比較しそしてＳＮＲの変化時に判断境界（ゼロ交差）の移動に注目するのを容易にする。正規化メトリックのそのような曲線が図２１に示されている。垂直の格子線は、コンステレーションスポット位置である。

【０１１０】

明らかなように、あるコンステレーション位置（電圧値）では、下位ビット（ＬＳＢ、ＬＳＢ＋１及びＬＳＢ＋２）は、何の貢献もしない。しかしながら、それらの下位ビットが高い電圧（非合併状態に関連した）にあるときには、貢献をする。高次のＢＩＣＭ最適化ＮＵＱＡＭ（又は充分に選択されたＣｏｎＱＡＭ導関数）へ進むときには、ＬＳＢが、それらのメトリックに「デッドゾーン」を有する「弱いもの」となり、ほとんど貢献しない。明らかに、それらは、「パートタイム」感覚となり、即ち上位ビットは、非合併状態を占有するときには、オファーすべき何かを有するが、合併状態が占有されたときには、ＬＳＢが無力となる。実際に、これは、パンクチャリングに非常に良く似ている。

【０１１１】

パンクチャーコードは、ある範囲のコードレートをカバーするＦＥＣコードのファミリをもつ１つの方法として使用される。低いコードレートを有する良好な母コードは、スタートポイントとして使用される。高いレートのコードが必要なときには、所与の数の入力非コードビットに対して少数のコードビットしか送信できないことを意味する。これを達成する１つの方法は、母コードで発生されたコードビットの幾つかの送信を単に省略することである。これは、送信器及び受信器の両方に知られた系統的なパターンで行われ、コードをパンクチャーするものとして知られている。受信器では、パンクチャーされたビットが決して送信されることのないシーケンス内の位置においてＦＥＣデコーダへダミービ

ットが供給され、デコーダが、最初に発生されたものと同じ数を受信するようにする。しかしながら、これらの追加されるダミービットは消去とマークされ、それらに意義を添付しないことがデコーダに分かるようにする。消去とマークすることは、単に、ソフト判断メトリックがゼロにセットされることを意味する（実際には「このビットの精度では信頼性がゼロである」）。

【０１１２】

ここで、高次のＮＵＱＡＭコンステレーションを採用したときに何が起きるかについて考える。ＢＩＣＭ容量最適化は、コンステレーションポイントの幾つかを実際に非常に接近したままにする（そしてＣｏｎＱＡＭでは、それらは、意図的に同じ位置にされる）ことが分かった。その結果、影響を受けるビット（ＬＳＢ、及びコンステレーションによっては他のビットも）の受信器メトリックは、（ほぼ）合併位置の周りのある範囲の位置に対して非常に平坦で且つゼロ（又は本質的にゼロ）に等しくなる。従って、受信信号がこの範囲内にあるときに、ソフト判断情報は、消去とマークするのに良好となる。

【０１１３】

これとパンクチャリングとの間の相違は、非常に小さい。パンクチャリングでは、事前にアレンジされたパンクチャリングパターンに関してコードシーケンスへの落下が生じる場所のためにコードビットがパンクチャーされる。ＮＵＱＡＭでは、本質的に消去されたビットは、記号内の弱いレベル（例えば、ＬＳＢ）にマップされる結果としてこの成り行きを受け、上位ビットは、問題とする「弱いビット」が（ほぼ）合併状態へマップされることを決定する組み合わせを行うものである。しかし、時には、同じ「弱いビット」が、その隣接部から充分に分離されたコンステレーション位置へマップされ、次いで、容量への貢献をなす。特定のアプリケーションが、非コードビットレートが６ビット／記号に等しいペイロードを送信する必要があると仮定する。又、レート１／２の特定のＦＥＣコードを使用すると仮定する。従って、送信記号当たり１２コードビットが発生される。これら全てのコードビットを４０９６－ＮＵＱＡＭ（又はＣｏｎＱＡＭ導関数）にマップすることができる。

【０１１４】

平易な番号を形成するために、マッピングは、２つのＬＳＢが「消去され」、例えば、時間の１／２にされ、そして２つの次のＬＳＢが「消去され」、例えば、時間の１／４にされると仮定する。平均で、記号当たり１０．５のコードビットが受け取られて消去されず、従って、「有効」コードレートは、６÷１０．５＝４／７となる。そうではなくて、例えば、２５６－ＱＡＭを使用する（及びメトリックにフラットスポットがないと仮定する）場合には、記号当たり８つのコードビットを送信し、そして「有効」コードレートは、６÷８＝３／４となり、このケースの若干高いレートは、慣習的なパンクチャリングにより達成される。おそらく、明確なパンクチャリングを回避し、そしてそれが、高次のＮＵＱＡＭのマッピング／デマッピングプロセスの付随的で且つ一体的な部分として生じるようにすることにより、何らかの仕方でＢＩＣＭ作用がより効果的に行われる。

【０１１５】

以上、最良のＢＩＣＭ容量に対してコンステレーションを最適化することを考えた。ＢＩＣＭの実際的なバージョンを具現化することに直接的な関心があるので、これは、最も関心のあるテーマである。しかしながら、ＣＭ容量のような他の容量手段を代替物として最適化することができる。実際に、同じＳＮＲにおけるＣＭ及びＢＩＣＭ容量を最適化するためにγに対して若干異なる値が必要であるにも関わらず、例えば、ＢＩＣＭに対して１６－ＱＡＭがうまく最適化され、ＣＭの振舞いも充分である範囲において、厳密に同じ解決策を適用することができる。

【０１１６】

更なる結論

ＣｏｎＱＡＭに対して付加的な効果があること、即ちコンステレーションにおける個別ポイントの数（専門語で「濃度(cardinality)」）についてなされる減少が、ＭＩＭＯコンテクストに使用される受信器の複雑さを著しい低減させる、という要点が確認された。

ここでの全ての作業で報告されたコンステレーションは、ＳＮＲごとに、単一のＡＷＧＮチャンネル（ひいては、ＳＩＳＯシステム）に対して最適化されるが、放送分野のＭＩＭＯチャンネルについては容易に最適化できないことに注目すべきである。チャンネルは、送信器には分からず、実際に、多数の受信位置が同時にサービスを受けるので、異なるチャンネルをカウントできない。従って、ＳＩＳＯについて最適化されたコンステレーションは、できる限り充分良好であり、この場合、ここまでの全ての結果は、ＭＩＭＯにとって関心のあるものであり、そしてＣｏｎＱＡＭにおけるコンステレーションポイント数の減少は、すごいものとなる。

【０１１７】

それ故、研究に関心のある領域が２つある。その１つは、制約のないシャノンＢＩＣＭ容量限界にどれほど厳密に接近できるか調べるために耐えず巨大なＱＡＭコンステレーションの有用な凝縮を見つけることである。最大のＣｏｎＱＡＭは、１６３８４－３６００－ＣｏｎＱＡＭであり、その最良の結果は、２２ｄＢの設計ＳＮＲにおいて０．０７１ビット／記号の不足である。６５５３６－ＣｏｎＱＡＭへの拡張で、２３ｄＢのＳＮＲにおいて不足が０．０５７ビット／記号に減少され、そして２８ｄＢのＳＮＲにおいて０．０５８ビット／記号の不足をもつ良好な振舞いの第２ローブがオープンされた。従って、次に大きなＱＡＭの「充分に弛緩した」凝縮を使用することによって制約のない限界に更に接近させるという希望は、再び実を結んだ。おそらく、最適化を行うに充分な根気や計算時間が与えられれば、これを不定に続けられると思われる。しかしながら、適当な凝縮を取り上げることは（合理的な計算を越えるので「親」ＮＵＱＡＭの検査結果を生じることなく）、ビット偶然になる。ここに報告されたケースでは最良のものが見つかる保証がなく、従って、常に、全てのＣｏｎＱＡＭ容量結果を、親ＮＵＱＡＭで何が可能であるかに関して単に下限として取り扱わねばならない。

【０１１８】

特に、ＭＩＭＯへの現在の潜在的適用性及びその受信器の簡単化が認識されているが、関心のある第２の領域は、凝縮されるところの親ＱＡＭが何であれ、極めて少ない凝縮ポイントを有する「コンパクト」なＣｏｎＱＡＭを探すことである。主として、コンステレーションに１００又は１４４ポイントを有するケースについて、実例が検討されている。ＭＩＭＯ受信器の複雑さが進行するにつれて、これは、６４－ＮＵＱＡＭと２５６－ＮＵＱＡＭとの間の中間になる。２５６－ＮＵＱＡＭより性能が優れた１４４ポイントのＣｏｎＱＡＭは、常に、見つかることが分かった。これは、あまり複雑でないことと、優れた性能とを同時に持ち合わせていることを意味する。６４－ＮＵＱＡＭより性能が優れ、且つ約１３．８ｄＢまでは２５６－ＮＵＱＡＭより性能が優れた１００ポイントのＣｏｎＱＡＭは、常に、見つかる。

【０１１９】

どのコンパクトなＣｏｎＱＡＭが最良であるかは、ＳＮＲ範囲に依存する。非常に低いＳＮＲでは、試みられた最も極端な例が勝ちとなる（２６２１４４－１４４Ａ及び２６２１４４－１００Ａ）。所与の数のポイントについては、最適な親コンステレーションは、ＳＮＲが上昇するときに減少順で変化する。従って、６５５３６－１００Ａは、若干高いＳＮＲにおいて２６２１４４－１００Ａから引き継がれ、等々となる。図２３を参照されたい。中間のＳＮＲ範囲では、パターンがあまり簡単ではない。４０９６－１４４Ａ及び４０９６－１００Ａは、ほとんどのＳＮＲ範囲にわたって最良である。１０２４－１４４Ａ及び１０２４－１００Ａは、より高いＳＮＲ及びある範囲の中間ＳＮＲについても良好である。これについても、図２３を参照されたい。実際に、ＣｏｎＱＡＭスキームの選択は、そのスキームに使用すべきポイントの数を選択し；選択された数のポイントを有するように凝縮される異なるＮＵＱＡＭスキームに対して所与のＳＮＲにおいて容量を分析し；及び最大のチャンネル容量を有するＣｏｎＱＡＭスキームを選択することにより、選択される。

【０１２０】

ＭＩＭＯ受信器により要求される処理は、ここに述べるＣｏｎＱＡＭスキームを使用し

て減少することができる。これは、ＭＩＭＯ受信器が、原理的に、「全てのコンステレーションポイントを試みて」、（受信信号値が与えられると）送信された可能性が最も高いものを見つけなければならないからである。従って、これを行うには、「ブルートフォース(brute force)」形態では、Ｍ＊Ｎ回の試みが必要である。但し、Ｍは、コンステレーションの濃度であり、そしてＮは、ＭＩＭＯ設定における送信器の数である。従って、ＣｏｎＱＡＭにおいて、ファクタＲ＊Ｎが得られ、Ｒは、凝縮濃度と、母コンステレーションのそれとの比である。実際に、サーチは、「ブルートフォース」方法だけではなく、賢い方法で行うことができるが、潜在的利得は、非常に僅かな性能価格支払にも関わらず、ＮＵＱＡＭよりもＣｏｎＱＡＭの選択に実質的で且つ充分な価値がある。

【０１２１】

Appendix A

Table 1 – 1024 QAM Optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	α	β	γ	δ	ε	ζ	η
15.	4.89436	0.980548	0.982758	1.00237	3.03113	2.91166	2.90001	3.0208
15.5	5.06119	1.0011	0.993904	0.99287	2.94158	2.96032	3.10758	3.08959
16.	5.22567	0.998635	1.00858	1.00987	2.9737	2.99864	3.17946	3.15367
16.5	5.39016	0.995345	1.02894	1.03346	2.99909	3.02854	3.25465	3.22147
17.	5.55129	0.992261	1.06113	1.06883	3.02488	3.05485	3.35029	3.31249
17.5	5.71027	0.991597	1.11898	1.12762	3.06942	3.09267	3.50188	3.46689
18.	5.86808	0.993958	1.21872	1.22528	3.15912	3.17184	3.74734	3.72184
18.5	6.02576	0.997143	1.38671	1.39016	3.33217	3.33661	4.13732	4.12177
19.	6.18436	0.999598	1.71173	1.71267	3.68579	3.6862	4.83051	4.82213
19.5	6.34552	1.00032	2.19428	2.19426	4.21035	4.20732	5.76432	5.76034
20.	6.50853	1.00041	2.54817	2.54753	4.59098	4.58659	6.41861	6.42171
20.5	6.67157	1.00035	2.75608	2.7548	4.81468	4.81048	6.79684	6.81277
21.	6.83358	1.00005	2.87771	2.87606	4.94493	4.94352	7.01385	7.04948
21.5	6.99385	0.999671	2.94674	2.94547	5.01741	5.02246	7.13124	7.19564
22.	7.15197	0.999494	2.98298	2.98366	5.0526	5.06992	7.18169	7.29029
22.5	7.30796	1.00016	3.00014	3.00589	5.06408	5.10337	7.1865	7.36325
23.	7.46195	1.00314	3.00793	3.02476	5.06207	5.13871	7.16522	7.44122
23.5	7.61397	1.01176	3.01298	3.05314	5.05466	5.197	7.13856	7.56502
24.	7.76423	1.03416	3.02417	3.11316	5.06028	5.31848	7.15873	7.80308
24.5	7.91305	1.09301	3.06369	3.25935	5.13672	5.60203	7.35201	8.28985
25.	8.06121	1.26816	3.21705	3.66962	5.49885	6.33058	8.0494	9.33465
25.5	8.21114	2.01084	3.98927	5.1756	7.1137	8.57658	10.508	12.2638
26.	8.36395	2.56887	4.57204	6.23344	8.25661	10.0819	12.1691	14.2126
26.5	8.51512	2.80158	4.81384	6.68009	8.73557	10.7268	12.8768	15.0562
27.	8.66295	2.91328	4.92997	6.89612	8.9681	11.0421	13.2249	15.4729
27.5	8.80673	2.96647	4.98552	6.99946	9.08022	11.1939	13.3928	15.6711
28.	8.94595	2.99044	5.01062	7.0456	9.12981	11.2589	13.4611	15.744
28.5	9.08006	3.00002	5.02001	7.06184	9.14424	11.2735	13.4669	15.7358
29.	9.2083	3.00317	5.02183	7.06309	9.13919	11.259	13.4349	15.6781
29.5	9.32963	3.00375	5.02035	7.05762	9.12488	11.2308	13.3853	15.5985
30.	9.44276	3.00354	5.01794	7.05037	9.1085	11.2001	13.3335	15.5178
30.5	9.54634	3.00306	5.01536	7.04316	9.09297	11.1716	13.2862	15.4449
31.	9.63918	3.00263	5.01318	7.03705	9.07984	11.1475	13.2463	15.3833
31.5	9.7204	3.00234	5.0115	7.03215	9.06915	11.1277	13.2133	15.3321
32.	9.78953	3.00196	5.00984	7.02768	9.05973	11.1105	13.1849	15.2883

θ	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο
5.09067	5.76678	5.66847	5.03139	10.3416	8.41086	7.89393	12.7861
5.16717	5.09769	5.76268	5.90028	8.00865	8.55482	10.5983	13.1201
5.23365	5.1576	5.85493	6.02778	8.10571	8.67254	10.7971	13.3781
5.29126	5.21295	5.9608	6.16483	8.19518	8.7822	10.9569	13.5764
5.35297	5.28087	6.12213	6.34928	8.31759	8.93196	11.1359	13.7831
5.46145	5.40974	6.4215	6.65648	8.56852	9.22375	11.4593	14.1483
5.68115	5.65763	6.90221	7.14195	9.03588	9.75566	12.0451	14.8148
6.08225	6.08516	7.5738	7.83811	9.77544	10.6001	12.9814	15.8922
6.84088	6.86902	8.6285	8.94488	11.0206	12.0116	14.5759	17.7498
7.88704	7.94379	9.97567	10.3757	12.6439	13.8682	16.6698	20.1861
8.62116	8.7192	10.8987	11.4209	13.7807	15.2901	18.2004	21.9161
9.04263	9.19548	11.4224	12.0857	14.4598	16.2572	19.1908	22.9744
9.28037	9.49864	11.7215	12.5222	14.8749	16.9009	19.8316	23.6042
9.40045	9.70035	11.8833	12.8281	15.1288	17.3104	20.2226	23.9349
9.43665	9.85031	11.9597	13.0839	15.3007	17.5747	20.453	24.0762
9.42063	9.96967	12.0037	13.3402	15.4636	17.7804	20.6133	24.1351
9.39534	10.1514	12.0653	13.5898	15.6487	17.9757	20.758	24.1769
9.4098	10.3931	12.2052	13.8676	15.9006	18.2251	20.9615	24.2889
9.54621	10.7727	12.511	14.2703	16.3123	18.6428	21.3539	24.6199
9.95856	11.3948	13.1326	14.9827	17.0781	19.4536	22.1903	25.4603
11.028	12.6739	14.5289	16.5402	18.7909	21.3247	24.2218	27.6602
14.2848	16.3468	18.622	21.1001	23.8594	26.9534	30.4759	34.6399
16.4521	18.7881	21.3349	24.1084	27.1736	30.5875	34.4497	38.9862
17.3892	19.8491	22.5063	25.3881	28.545	32.0334	35.9511	40.5229
17.8523	20.3679	23.0646	25.9709	29.1288	32.5923	36.4549	40.9319
18.0666	20.5943	23.285	26.1657	29.273	32.6581	36.4093	40.7288
18.1317	20.6408	23.2947	26.1182	29.1444	32.4212	36.0311	40.1623
18.0972	20.5667	23.1638	25.9112	28.8392	31.9923	35.4469	39.3768
18.0021	20.4211	22.952	25.6157	28.4399	31.4657	34.7634	38.493
17.8819	20.2482	22.7126	25.2941	28.0181	30.9225	34.0717	37.6124
17.7629	20.0803	22.4838	24.9906	27.6241	30.4186	33.4335	36.8029
17.6565	19.9312	22.2814	24.7229	27.2769	29.975	32.8712	36.0884
17.5663	19.8047	22.1095	24.4951	26.9806	29.5949	32.3873	35.4703
17.4913	19.699	21.9652	24.3029	26.7296	29.2713	31.9733	34.9381
17.4271	19.6086	21.8418	24.1382	26.5139	28.9924	31.6149	34.4751

Table 2 - 1024-324-ConQAM optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	ϵ	η	ζ
6.	2.18683	0.999999	0.999999	3.67143
6.5	2.3152	0.999999	0.999999	3.75316
7.	2.44312	1.10986	1.04723	3.5599
7.5	2.58114	1.14236	1.06266	3.61984
8.	2.72075	1.17279	1.07911	3.66489
8.5	2.86095	1.20629	1.09982	3.68473
9.	3.00125	1.253	1.132	3.68824
9.5	3.14202	1.33214	1.20673	3.67313
10.	3.28527	1.48451	1.40041	3.69571
10.5	3.43325	1.6556	1.60503	3.83759
11.	3.58571	1.83437	1.8	4.01656
11.5	3.74201	2.02863	2.0085	4.2175
12.	3.90144	2.23361	2.22648	4.42464
12.5	4.06333	2.42847	2.43539	4.61192
13.	4.22719	2.59327	2.61805	4.76366
13.5	4.3927	2.72324	2.76986	4.88359
14.	4.55939	2.8198	2.89082	4.97779
14.5	4.72672	2.88742	2.98414	5.05093
15.	4.89405	2.93223	3.05543	5.10669
15.5	5.0607	2.95962	3.11052	5.14665
16.	5.22595	2.97222	3.15399	5.16895
16.5	5.38914	2.97001	3.19003	5.17036
17.	5.54985	2.95169	3.22479	5.15153
17.5	5.70809	2.91913	3.2677	5.12588
18.	5.86442	2.8822	3.32057	5.11277
18.5	6.01914	2.85299	3.3789	5.11987
19.	6.17196	2.83371	3.44676	5.14581
19.5	6.32249	2.82303	3.54051	5.19689
20.	6.47105	2.82382	3.67801	5.28795
20.5	6.61875	2.84005	3.85076	5.42203
21.	6.76606	2.86666	4.02658	5.58063
21.5	6.91203	2.89404	4.18109	5.74222

λ	μ	ν	ξ	o
3.67143	3.67143	3.67143	3.67143	3.67143
3.75316	3.75316	3.75316	3.75316	3.75316
3.26454	3.77922	3.52617	4.11246	5.79963
3.35041	3.84158	3.60879	4.1811	6.18871
3.41609	3.88532	3.68658	4.26554	6.42906
3.4527	3.90625	3.75583	4.37587	6.57478
3.47237	3.92303	3.84729	4.58227	6.68033
3.53019	4.07965	4.07864	4.95942	6.8723
3.73332	4.77697	4.68263	5.42231	7.3882
3.96001	5.47993	5.27582	5.86231	7.98101
4.18549	5.96956	5.8043	6.411	8.57892
4.42758	6.41493	6.31385	6.9723	9.20648
4.68194	6.80378	6.79682	7.56013	9.84802
4.93354	7.11108	7.22823	8.17431	10.4747
5.16547	7.3533	7.59411	8.77771	11.0675
5.36794	7.55937	7.89906	9.32346	11.6171
5.53539	7.73216	8.14519	9.78251	12.1108
5.66848	7.86897	8.33376	10.1486	12.5378
5.77261	7.9718	8.46825	10.4272	12.8873
5.85464	8.0432	8.55385	10.6239	13.1467
5.92116	8.08287	8.59621	10.7416	13.3053
5.9817	8.0931	8.60505	10.7886	13.3656
6.05543	8.08945	8.60308	10.7909	13.3563
6.17147	8.10982	8.63453	10.8016	13.3403
6.32678	8.17795	8.72575	10.8568	13.3635
6.48466	8.27731	8.86188	10.9479	13.4213
6.62848	8.38758	9.03172	11.0647	13.505
6.76645	8.50779	9.25551	11.2266	13.6365
6.91682	8.65716	9.57107	11.479	13.8637
7.08988	8.85297	9.95795	11.8242	14.1884
7.27743	9.07518	10.3405	12.1926	14.5375
7.46401	9.29504	10.6833	12.537	14.8618

Table 3 – 1024-256-ConQAM optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	η	ι	λ
6.	2.18683	1.	3.67143	3.67143
6.5	2.3152	1.	3.75317	3.75317
7.	2.44291	1.07813	3.55495	3.26386
7.5	2.58081	1.1018	3.61117	3.3512
8.	2.72028	1.12537	3.65074	3.42007
8.5	2.86034	1.15389	3.6615	3.46285
9.	3.0005	1.1995	3.65039	3.49632
9.5	3.14144	1.30977	3.57085	3.65249
10.	3.28562	1.41742	3.63143	3.75644
10.5	3.43315	1.63399	3.84222	3.96769
11.	3.58566	1.81732	4.0174	4.18785
11.5	3.742	2.0179	4.21711	4.42839
12.	3.90144	2.22953	4.42416	4.68206
12.5	4.06332	2.43266	4.61265	4.93352
13.	4.22717	2.60867	4.7667	5.16523
13.5	4.39259	2.75209	4.8892	5.36625
14.	4.55914	2.8627	4.98562	5.52985
14.5	4.72624	2.9437	5.06052	5.65568
15.	4.89323	3.00106	5.11819	5.74886
15.5	5.05943	3.04068	5.16076	5.81569
16.	5.22406	3.06658	5.18682	5.86131
16.5	5.38636	3.08076	5.19248	5.89076
17.	5.54562	3.08481	5.17588	5.91543
17.5	5.70135	3.08144	5.14178	5.96248
18.	5.85365	3.07443	5.10671	6.0787
18.5	6.00361	3.06684	5.09523	6.27457
19.	6.15212	3.0598	5.10396	6.46972
19.5	6.29859	3.05335	5.11221	6.61054
20.	6.44221	3.04772	5.11339	6.69684
20.5	6.58258	3.04275	5.11002	6.7531
21.	6.71821	3.03813	5.10443	6.79736
21.5	6.84666	3.03386	5.09727	6.83242

μ	ν	ξ	ο
3.67143	3.67143	3.67143	3.67143
3.75316	3.75316	3.75316	3.75316
3.52715	3.78552	5.79489	4.10369
3.61231	3.85513	6.1867	4.16576
3.91279	3.69566	4.24013	6.4303
3.9625	3.77692	4.33227	6.58234
4.0477	3.90109	4.50547	6.70615
4.98365	4.29056	4.36087	7.03732
4.62501	5.449	7.36058	4.5906
5.29203	5.59848	7.99206	5.75489
5.98843	5.80901	6.39597	8.58138
6.41926	6.3148	6.96795	9.20621
6.80397	6.7966	7.55919	9.84736
7.11162	7.22882	8.17493	10.4757
7.35591	7.59681	8.77953	11.0716
7.56348	7.90372	9.32631	11.6244
7.73629	8.15042	9.78555	12.1197
7.8712	8.33729	10.15	12.5453
7.9705	8.46792	10.425	12.8906
8.03643	8.54727	10.6157	13.1428
8.06758	8.58	10.724	13.2904
8.06206	8.57168	10.7536	13.3312
8.02678	8.53644	10.7213	13.2839
7.98806	8.50791	10.6682	13.198
7.99989	8.54731	10.6658	13.1577
8.10209	8.69674	10.7657	13.2235
8.23931	8.90649	10.9184	13.3437
8.35157	9.14838	11.0896	13.4811
8.44107	9.45452	11.3238	13.6813
8.53335	9.76673	11.601	13.9249
8.61751	10.0095	11.8411	14.1327
8.68431	10.187	12.0292	14.2903

Table 4 – 16384-3600X1-ConQAM optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a_7	a_{11}	a_{15}	a_{19}	a_{23}	a_{27}
8	2.72734	1.08326	1.17456	1.0829	1.17738	1.2761	1.17777
9	3.00564	0.982229	1.14162	1.16226	1.35865	1.33726	1.14765
10	3.29065	1.36347	1.35002	0.987438	1.09894	1.51547	1.5265
11	3.59369	1.00254	1.00511	1.00254	1.82566	1.85079	1.82566
12	3.91129	0.988968	0.978133	0.988987	2.21285	2.21223	2.21285
13	4.23805	0.997742	0.970074	0.972196	2.54459	2.53816	2.56468
14	4.57251	1.00038	0.968317	0.967971	2.76995	2.76865	2.83907
15	4.90964	1.00181	0.98141	0.979712	2.89731	2.90503	3.02045
16	5.24694	0.999359	1.00509	1.0057	2.96949	2.99047	3.16142
17	5.58085	0.993567	1.04771	1.05406	3.0158	3.04478	3.30927
18	5.90975	0.99281	1.16713	1.17471	3.11108	3.12814	3.61865
19	6.23777	0.998531	1.52987	1.53185	3.48694	3.48853	4.44814
20	6.57286	1.0003	2.40996	2.40971	4.44123	4.43778	6.16156
20.5	6.74246	1.00024	2.67444	2.67358	4.72547	4.72129	6.64618
21	6.91156	1.00018	2.8277	2.8263	4.89046	4.88741	6.92291
21.5	7.07963	0.999872	2.91589	2.91439	4.98435	4.98519	7.07764
22	7.2464	0.999532	2.96474	2.96403	5.03451	5.04287	7.15641
23	7.57619	1.00058	3.00273	3.01023	5.06358	5.10819	7.18025
24	7.90158	1.01319	3.01355	3.05642	5.05301	5.20045	7.13261
25	8.22388	1.09849	3.06023	3.2467	5.1278	5.57321	7.32594
26	8.54845	1.87888	3.84986	4.92006	6.83439	8.20486	10.0921
27	8.88364	2.74514	4.75445	6.56773	8.61233	10.554	12.6799
28	9.21477	2.93823	4.95493	6.94063	9.01191	11.0955	13.2732
29	9.53771	2.99128	5.01069	7.04314	9.12174	11.241	13.4278
30	9.85018	3.0017	5.01907	7.05691	9.12853	11.241	13.4074

a_{31}	a_{35}	a_{39}	a_{41}	a_{43}	a_{45}	a_{47}	a_{48}
1.08589	4.24341	3.85714	3.67473	3.64099	3.83402	3.88403	4.35029
1.16834	3.92034	4.07512	3.71438	3.68267	3.60105	3.62884	3.97705
1.113	4.50629	3.73974	3.82721	3.87097	4.70967	4.60105	5.7432
1.80242	3.9835	4.11507	4.24428	4.2481	4.11489	4.11524	5.9971
2.21342	4.34853	4.50795	4.68889	4.68203	4.50114	4.51416	7.03118
2.57061	4.67585	4.68891	5.06998	5.09735	5.0659	5.04104	7.16914
2.84052	4.89629	4.88589	5.43865	5.43643	5.44085	5.44285	7.65962
3.01374	5.07636	5.03211	5.67103	5.65867	5.72613	5.73825	7.91885
3.14014	5.21564	5.14796	5.8343	5.83863	5.98356	5.98017	8.10862
3.27448	5.32341	5.25068	6.03856	6.0607	6.26726	6.24609	8.27665
3.58941	5.55785	5.52155	6.63467	6.66877	6.89293	6.8588	8.80054
4.43702	6.4168	6.4299	8.03497	8.07196	8.34123	8.29899	10.3531
6.16015	8.33249	8.40046	10.5214	10.5542	10.9808	10.9341	13.3284
6.6538	8.87435	8.98843	11.2013	11.2218	11.7823	11.745	14.1555
6.94555	9.18017	9.35197	11.5839	11.5923	12.2921	12.2686	14.6401
7.1217	9.34546	9.58355	11.7965	11.7956	12.6231	12.615	14.9202
7.23072	9.41892	9.73946	11.9032	11.8956	12.8575	12.867	15.0767
7.36876	9.40375	9.98988	11.98	11.9717	13.2927	13.3326	15.305
7.56537	9.39726	10.3799	12.1705	12.1746	13.7691	13.8508	15.6587
8.23272	9.89876	11.3031	13.0044	13.0364	14.749	14.9227	16.6623
11.7679	13.7222	15.6944	17.8274	17.9175	20.0681	20.4322	22.5464
14.8077	17.096	19.4907	21.9665	22.2007	24.5917	25.3403	27.6548
15.5156	17.8758	20.3611	22.7932	23.2969	25.5311	26.7969	28.9394
15.6881	18.0443	20.5118	22.8316	23.661	25.7087	27.3692	29.3646
15.6374	17.9443	20.3412	22.6044	23.8812	25.7267	27.5483	29.4623

SNR, dB	a_{49}	a_{50}	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}
8	4.28822	4.20413	4.24074	3.83578	3.85273	3.90168	3.88836
9	3.9673	3.91436	3.91141	4.08427	4.05113	4.11133	4.16609
10	5.85407	5.84912	5.76955	3.95915	3.98991	3.92099	3.89438
11	6.24694	6.46584	6.23237	5.83998	5.99979	5.87355	5.7212
12	6.83203	7.15562	7.38259	6.89608	6.78302	6.59557	6.69079
13	7.21012	7.37622	7.30865	7.43985	7.53103	7.37421	7.30717
14	7.59812	7.76499	7.81957	7.99376	7.95655	7.76648	7.82095
15	7.89844	7.91203	7.93365	8.36338	8.33635	8.28673	8.31156
16	8.10064	8.06785	8.0755	8.59152	8.57396	8.60704	8.62372
17	8.28007	8.22263	8.23948	8.77079	8.77535	8.88401	8.88052
18	8.81053	8.73717	8.7288	9.33206	9.35494	9.5322	9.51004
19	10.3667	10.282	10.2713	11.0288	11.0679	11.3229	11.2841
20	13.3405	13.2662	13.2569	14.381	14.4358	14.7839	14.7275
20.5	14.1609	14.123	14.1187	15.5026	15.5577	15.9322	15.8738
21	14.6389	14.6435	14.6446	16.2592	16.3071	16.7258	16.6668
21.5	14.9158	14.9643	14.9682	16.7283	16.7609	17.2609	17.2117
22	15.0726	15.1678	15.1717	17.0093	17.0258	17.6162	17.5819
23	15.3056	15.4945	15.4939	17.3771	17.3717	18.1007	18.1022
24	15.6632	15.9896	15.9832	17.7991	17.7947	18.7147	18.7527
25	16.665	17.2263	17.2198	18.9685	18.9614	20.22	20.2899
26	22.5465	23.5301	23.5263	25.6417	25.6513	27.4646	27.6131
27	27.6523	29.2516	29.2586	31.563	31.6214	33.8621	34.1681
28	28.9411	30.9083	30.9464	33.1576	33.3333	35.5279	36.1236
29	29.3913	31.4133	31.5451	33.5931	34.0234	35.9991	37.0393
30	29.5807	31.4542	31.846	33.6305	34.5353	36.2518	37.7261

a_{56}	a_{57}	a_{58}	a_{59}	a_{60}	a_{61}	a_{62}	a_{63}
4.34682	4.28563	4.20169	4.23763	8.19018	5.26038	5.34614	7.02518
6.14147	5.09697	4.99794	6.30002	8.39078	4.82575	4.97647	7.09509
3.74948	3.76999	3.82647	3.80288	6.88469	6.68155	7.415	9.05164
5.99711	6.24694	6.46584	6.23237	8.5469	7.73453	7.79394	10.4136
7.03008	6.83118	7.15462	7.38148	8.81157	8.68814	11.6936	9.86896
8.58326	9.5516	9.05841	8.51591	8.59365	9.56237	10.9895	13.2649
9.59232	10.5562	10.0475	9.52335	9.59152	10.5562	12.012	14.3922
10.0381	10.1583	10.5116	10.3444	11.5478	11.9879	13.1184	15.2668
10.4708	10.4787	10.927	10.8691	12.3309	12.795	14.0941	16.239
10.7818	10.7403	11.2236	11.2669	12.8882	13.376	14.9513	17.14
11.4593	11.3996	11.9076	12.0196	13.7808	14.281	16.1227	18.4582
13.3913	13.3152	13.9132	14.09	16.0756	16.6416	18.8177	21.487
17.1626	17.0632	17.8556	18.1302	20.4966	21.2244	23.9171	27.1936
18.3139	18.2112	19.1008	19.4278	21.8308	22.6361	25.435	28.8486
19.0525	18.9613	19.9792	20.3504	22.7014	23.5938	26.4099	29.8691
19.501	19.4439	20.6466	21.0467	23.295	24.2965	27.0688	30.515
19.7702	19.7582	21.144	21.5839	23.7177	24.8712	27.5569	30.9526
20.1218	20.1991	21.7749	22.3446	24.3067	25.8275	28.3342	31.5766
20.5947	20.7549	22.4075	23.0848	24.9685	26.7269	29.1458	32.2362
22.0128	22.2833	23.9777	24.8326	26.696	28.63	31.0714	34.1255
29.6918	30.2163	32.3122	33.6901	35.9776	38.5213	41.6079	45.4084
36.4731	37.3906	39.7349	41.7214	44.3397	47.3538	50.9109	55.2202
38.2894	39.679	41.8881	44.1463	46.7932	49.8212	53.3191	57.4886
38.9822	40.7375	42.8393	45.1489	47.7461	50.6657	53.9826	57.8808
39.5015	41.3748	43.4449	45.7167	48.2201	50.9906	54.0961	57.7009

Table 5 - 16384-1156Y1-ConQAM optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a_{13}	a_{33}	a_{31}	a_{35}	a_{15}	a_{17}	a_{51}
9	3.00505	1.17246	1.37616	1.17162	4.0637	3.71755	3.67503	4.05482
10	3.29	1.09028	1.56707	1.40692	3.85703	3.87754	3.79878	4.76328
11	3.59224	1.00723	1.85421	1.81572	4.05176	4.25071	4.15309	6.04781
12	3.90958	0.985938	2.2154	2.21038	4.39927	4.69159	4.58682	6.79082
13	4.23701	0.971637	2.56249	2.56946	4.68342	5.10851	5.04167	7.25687
14	4.57165	0.968052	2.76557	2.83471	4.88738	5.43531	5.42641	7.63583
15	4.90944	0.979609	2.89812	3.01398	5.04865	5.66609	5.71968	7.90678
16	5.2467	1.00592	2.98059	3.15328	5.18179	5.85697	5.97365	8.09688
16.5	5.42419	1.02638	3.01145	3.22348	5.24073	5.96162	6.10779	8.18308
17.	5.58046	1.05562	3.03945	3.30777	5.30327	6.10058	6.27525	8.2895
17.5	5.74543	1.1014	3.07314	3.42931	5.39479	6.32396	6.52451	8.47161
18.	5.90944	1.17664	3.1314	3.62187	5.56271	6.6917	6.91189	8.81118
18.5	6.07322	1.30101	3.24697	3.92496	5.86555	7.23196	7.47146	9.37517
19.	6.2375	1.53201	3.49039	4.44567	6.42822	8.05608	8.32794	10.3187
19.5	6.40371	1.97226	3.9685	5.33646	7.42744	9.36179	9.68755	11.8724
20.	6.5725	2.41119	4.44093	6.16286	8.3692	10.5416	10.9486	13.2913
21	6.91077	2.8304	4.89262	6.94027	9.27099	11.6115	12.2255	14.6261
22	7.24415	2.9686	5.04427	7.20146	9.57572	11.9287	12.7037	15.0511
23	7.56973	3.00852	5.08794	7.27118	9.63242	11.932	12.9216	15.1246
24	7.88612	3.0159	5.08871	7.25619	9.56683	11.839	13.2525	15.2638

a_{53}	a_{55}	a_{57}	a_{58}	a_{52}	a_{63}	a_{61}	a_{62}	a_{63}
4.09504	4.03633	5.14652	6.18988	6.1524	6.63509	6.2204	6.88263	8.47642
4.83038	4.7485	5.81835	5.88934	5.87154	7.23981	6.73174	7.14332	9.15544
5.93253	5.8306	6.47978	6.62936	6.51681	7.73328	7.65533	8.55753	10.3345
6.80614	6.68312	7.43947	7.6839	7.53162	8.72256	8.7904	9.8073	11.6447
7.40531	7.36174	8.53837	8.85558	8.67025	9.79722	9.97014	10.9774	12.981
7.96312	7.88643	9.47623	9.83016	9.6435	10.7138	11.0303	12.0988	14.1873
8.33533	8.29093	10.0731	10.4886	10.3469	11.5667	11.9895	13.1326	15.258
8.58012	8.60485	10.4794	10.9241	10.8703	12.3267	12.7943	14.093	16.2409
8.6834	8.74125	10.6397	11.0922	11.0848	12.638	13.1175	14.5496	16.7121
8.80917	8.897	10.8081	11.2646	11.2977	12.9358	13.4193	14.9988	17.1955
9.02159	9.13679	11.0572	11.518	11.5827	13.2987	13.7824	15.5033	17.7596
9.40841	9.55106	11.4889	11.9627	12.052	13.8469	14.3351	16.1907	18.5343
10.0413	10.215	12.1916	12.6944	12.8067	14.6943	15.1991	17.1982	19.6674
11.0905	11.304	13.3704	13.9294	14.0689	16.0934	16.6369	18.8273	21.4974
12.8033	13.0703	15.3153	15.9698	16.1454	18.3886	19.0043	21.478	24.4737
14.4268	14.7544	17.1151	17.8837	18.1028	20.5083	21.2011	23.9143	27.1903
16.2221	16.6653	18.9593	20.0089	20.33	22.6929	23.5537	26.3866	29.8451
16.911	17.4823	19.6555	21.049	21.4945	23.6202	24.7917	27.4688	30.8594
17.091	17.7449	19.8366	21.4461	22.0109	23.9701	25.5245	28.0138	31.2312
17.2368	17.9987	19.9887	21.7134	22.3315	24.223	25.9905	28.3723	31.3974

Table 6 - 16384-576Z1-ConQAM optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a_{31}	a_{39}	a_{47}	a_{51}	a_{55}
9	3.00282	1.20815	3.66321	3.48922	4.06001	3.93793
10	3.28893	1.46327	3.71204	3.75229	4.8855	4.78853
11	3.59166	1.82872	4.03512	4.19215	5.98792	5.86887
12	3.90889	2.22549	4.42188	4.6733	6.79339	6.78673
13	4.23637	2.5965	4.75283	5.15015	7.35846	7.5361
14	4.57094	2.85525	4.97837	5.51628	7.76557	8.07594
15	4.90839	2.99506	5.11379	5.73216	7.98869	8.39613
16	5.24465	3.0615	5.18215	5.84477	8.06389	8.53331
17	5.57585	3.0835	5.1805	5.89647	8.02344	8.51772
18	5.89777	3.07678	5.11662	5.99775	7.95729	8.48117

a_{57}	a_{59}	a_{60}	a_{61}	a_{62}	a_{63}
4.60221	4.68413	6.55298	5.83653	6.14395	7.91429
5.52817	5.62956	7.24859	6.54936	6.77969	8.92141
6.57899	6.5983	7.6319	7.5603	8.50299	10.2788
7.60834	7.70666	8.7679	8.80093	9.81737	11.6886
8.71664	8.90984	10.0309	10.1179	11.073	13.135
9.63943	9.90295	10.9888	11.2412	12.3	14.4068
10.1688	10.5213	11.7291	12.1343	13.2988	15.4265
10.4211	10.8378	12.2632	12.7384	14.0452	16.1879
10.4476	10.8949	12.5099	12.9792	14.5267	16.6676
10.3831	10.8263	12.55	12.9791	14.7164	16.8766

Table 7 - 4096-1936-ConQAM optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a_3	a_5	a_7	a_9	a_{11}
15	4.90495	1.0019	0.981787	0.979994	2.89835	2.90673
16	5.24117	0.999239	1.00572	1.00644	2.97039	2.99225
17	5.57302	0.993195	1.05046	1.05718	3.01758	3.04704
18	5.89853	0.993115	1.18064	1.18796	3.12332	3.13913
19	6.22281	0.998856	1.58041	1.58204	3.54233	3.5432
20	6.55432	1.00031	2.45767	2.45732	4.49277	4.48905
21	6.88867	1.00013	2.84345	2.84198	4.90755	4.90488
22	7.21887	0.99955	2.97021	2.96977	5.04023	5.05041
23	7.54326	1.00105	3.00437	3.01376	5.06375	5.11522
24	7.86216	1.017	3.01526	3.0672	5.05255	5.22327
25	8.17739	1.11523	3.08108	3.3117	5.17505	5.69625
26	8.49579	2.14367	4.12843	5.42402	7.38321	8.92187
27	8.82209	2.7999	4.81164	6.67446	8.72769	10.7115
28	9.14123	2.95726	4.97574	6.97906	9.05496	11.1546
29	9.44901	2.99673	5.01652	7.05392	9.13353	11.2564
30	9.7421	3.00284	5.01969	7.05719	9.12628	11.235

a_{13}	a_{15}	a_{17}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{23}	a_{33}
3.02225	3.01494	5.08076	5.03356	5.67044	5.65747	5.72994	5.74285
3.16451	3.14227	5.21975	5.14985	5.83439	5.84175	5.99236	5.9862
3.31791	3.28217	5.3298	5.25658	6.05077	6.07594	6.28818	6.26399
3.65257	3.62438	5.58951	5.55678	6.70104	6.73686	6.96445	6.92826
4.55644	4.5463	6.53632	6.55354	8.20052	8.23862	8.5192	8.47487
6.25041	6.25017	8.43272	8.5083	10.6489	10.6808	11.133	11.0856
6.95166	6.97747	9.2123	9.39536	11.6271	11.6337	12.3593	12.3375
7.16504	7.24636	9.42659	9.76608	11.9208	11.9114	12.9037	12.9185
7.17733	7.38544	9.40023	10.0269	11.9982	11.9905	13.3569	13.4037
7.13205	7.6133	9.42068	10.4667	12.2368	12.2444	13.8638	13.9611
7.43151	8.42829	10.0856	11.546	13.2608	13.3017	15.0343	15.2381
10.8889	12.6971	14.7606	16.8635	19.1225	19.2345	21.4994	21.9342
12.8544	15.0191	17.3341	19.7659	22.2522	22.5415	24.9132	25.7873
13.3408	15.5982	17.9698	20.4678	22.8793	23.4812	25.676	27.1019
13.4439	15.7045	18.0575	20.5182	22.8224	23.7987	25.7926	27.5548
13.3945	15.6146	17.9073	20.2851	22.5684	24.0358	25.8584	27.7343

a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{30}	a_{31}
7.90711	7.91051	8.36321	8.31918	10.0454	10.4799	11.8486	14.0828
8.10969	8.06644	8.58827	8.6393	10.4584	10.9593	12.6437	14.9412
8.29304	8.23063	8.78897	8.91366	10.7834	11.3006	13.2176	15.6154
8.8771	8.80164	9.42193	9.61266	11.5274	12.0797	14.1686	16.707
10.5624	10.477	11.2739	11.5465	13.6178	14.2955	16.6735	19.5585
13.4963	13.4274	14.621	14.991	17.3458	18.2756	21.1144	24.5958
14.7014	14.7169	16.381	16.8416	19.1255	20.3853	23.246	26.8603
15.1071	15.2195	17.0712	17.7035	19.8576	21.5521	24.2719	27.7864
15.353	15.5667	17.4421	18.2235	20.2774	22.2244	24.8456	28.1842
15.7539	16.1265	17.9183	18.9475	20.8766	22.9374	25.4905	28.6688
16.982	17.61	19.3601	20.7472	22.6595	24.8397	27.4358	30.6053
24.1543	25.2817	27.5135	29.5887	32.1358	35.0629	38.4868	42.6153
28.0822	29.8311	32.181	34.6768	37.5333	40.7773	44.5033	48.9295
29.2128	31.284	33.6299	36.2046	39.0672	42.262	45.8736	50.1044
29.5715	31.713	34.0406	36.5701	39.3323	42.3689	45.756	49.6736
29.7356	31.8646	34.1395	36.5775	39.2033	42.0546	45.1989	48.794

Table 8 - 4096-NUQAM optimisation

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a_1	a_2	a_3	a_4
15	4.90495	1.00025	1.00217	1.00189	0.981791
16	5.24117	1.00002	0.999256	0.999228	1.0057
17	5.57302	1.00091	0.994102	0.993176	1.05044
18.	5.89853	1.00112	0.994224	0.993105	1.18067
19	6.22281	1.00018	0.999045	0.998875	1.58047
20.	6.55432	0.999898	1.00023	1.00027	2.45754
21	6.88866	1.02897	1.03482	1.02912	2.94686
22	7.21887	0.999913	0.999436	0.999461	2.96989
23	7.54326	1.00002	1.0011	1.00109	3.00452
24	7.86216	0.999906	1.0169	1.01693	3.01502
25.	8.17739	0.999838	1.11494	1.11504	3.08058

a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
0.98205	0.980253	0.979997	2.8978	2.8997	2.90807
1.00572	1.00645	1.00642	2.97104	2.96973	2.99159
1.05136	1.05808	1.05716	3.02091	3.01694	3.04634
1.18186	1.18919	1.188	3.12632	3.12378	3.13956
1.58072	1.58234	1.5821	3.54278	3.54265	3.54352
2.4575	2.45715	2.45719	4.49233	4.49267	4.48895
2.94643	2.94524	2.94558	5.08612	5.08514	5.08168
2.9699	2.96945	2.96944	5.03964	5.03973	5.04991
3.00447	3.01386	3.01391	5.06382	5.06412	5.11559
3.01503	3.06694	3.06694	5.05211	5.05215	5.22285
3.08065	3.31113	3.31105	5.17424	5.17417	5.69517

a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
2.90618	3.02177	3.02353	3.01624	3.01446
2.99291	3.16515	3.16384	3.14159	3.14291
3.05048	3.32173	3.31681	3.28108	3.28596
3.14219	3.65682	3.6522	3.62401	3.62858
3.54365	4.55771	4.55617	4.54606	4.54756
4.48861	6.25005	6.25004	6.2498	6.24981
5.08251	7.20878	7.20945	7.23626	7.2356
5.04982	7.16462	7.1639	7.24522	7.24593
5.11529	7.17823	7.17707	7.3851	7.38641
5.22281	7.13149	7.1314	7.61255	7.61275
5.69526	7.43018	7.43031	8.42699	8.42655

SNR, dB	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}
15	5.08463	5.07832	5.03134	5.03718
16	5.21709	5.2224	5.1522	5.14751
17	5.32652	5.33785	5.26356	5.25429
18.	5.58965	5.5955	5.56223	5.55736
19	6.53838	6.53567	6.55303	6.55547
20.	8.43572	8.42874	8.50443	8.51112
21	9.55615	9.55279	9.74299	9.74676
22	9.42415	9.42698	9.76677	9.76324
23	9.39919	9.40213	10.0302	10.0243
24	9.41998	9.41978	10.4669	10.4648
25.	10.0843	10.0833	11.5416	11.5463

a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}
5.6723	5.6571	5.72967	5.74461	7.90774	7.91203
5.83332	5.84277	5.99322	5.98526	8.11011	8.06606
6.05081	6.08077	6.29245	6.26459	8.29754	8.23335
6.70394	6.7409	6.96831	6.93151	8.8821	8.80605
8.20122	8.23981	8.52043	8.47552	10.5637	10.4782
10.6476	10.681	11.1332	11.0839	13.4957	13.4265
12.0598	12.0671	12.8203	12.797	15.2488	15.2649
11.9199	11.9098	12.9018	12.9175	15.1053	15.2179
11.9993	11.9904	13.3572	13.4044	15.3535	15.5674
12.2359	12.2431	13.8626	13.9599	15.7525	16.1251
13.2581	13.3	15.0318	15.2358	16.9793	17.6073

a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{30}	a_{31}
8.36488	8.31975	10.0465	10.481	11.8499	14.0844
8.58772	8.6398	10.4584	10.9595	12.6438	14.9414
8.7914	8.91849	10.7878	11.306	13.2234	15.6224
9.42648	9.618	11.5335	12.0863	14.1762	16.716
11.275	11.5479	13.6193	14.2971	16.6753	19.5606
14.6195	14.9901	17.3446	18.2747	21.1131	24.5943
16.9914	17.4696	19.838	21.1462	24.1129	27.8612
17.0694	17.7017	19.8554	21.5498	24.2693	27.7834
17.4428	18.2243	20.2783	22.2254	24.8467	28.1854
17.9167	18.9459	20.8748	22.9355	25.4883	28.6663
19.357	20.744	22.6559	24.8357	27.4313	30.6004

Table 9

Results for 65536-3600C-Con2AM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a31	a47	a55
19	6.24364	1.51227	3.46893	4.40833
20	6.5804	2.38586	4.4134	6.11654
21	6.92126	2.81876	4.87973	6.90754
22	7.25835	2.96262	5.03708	7.15507
23	7.59033	3.00494	5.08347	7.18485
24	7.91785	3.01465	5.08882	7.10832
25	8.24035	3.0146	5.07798	7.00559
26	8.5561	3.0126	5.06426	6.95813
27	8.86446	3.01032	5.05209	6.99025

a63	a71	a79	a87	a91
4.39741	6.37441	6.38626	7.99243	8.27303
6.11476	8.28146	8.34642	10.4721	10.9022
6.92909	9.16317	9.32961	11.566	12.2568
7.22485	9.41778	9.73026	11.8952	12.8417
7.35248	9.40237	9.96725	11.9627	13.2593
7.44906	9.31528	10.2264	12.0322	13.6005
7.58841	9.30219	10.5636	12.2309	13.8825
7.86274	9.44776	10.9169	12.5643	14.203
8.24723	9.77314	11.3446	13.0258	14.6389

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a95	a99	a103
19	6.24364	8.24129	10.2832	10.2071
20	6.5804	10.8649	13.2497	13.1808
21	6.92126	12.2348	14.6069	14.6084
22	7.25835	12.8477	15.0646	15.1533
23	7.59033	13.2974	15.2786	15.4608
24	7.91785	13.6787	15.4819	15.7957
25	8.24035	14.0437	15.7094	16.2476
26	8.5561	14.5064	16.0603	16.8871
27	8.86446	15.1375	16.6136	17.7429

a105	a107	a109	a111	a113
10.9588	10.9917	11.2318	11.198	13.2967
14.2868	14.3373	14.6722	14.6192	17.0485
16.2054	16.2527	16.6603	16.6031	18.9913
16.9876	17.004	17.5815	17.5487	19.7411
17.341	17.3372	18.056	18.0543	20.0797
17.5964	17.5842	18.4927	18.5247	20.3623
17.9109	17.9057	19.113	19.1762	20.8199
18.4188	18.4347	19.8235	19.956	21.4662
19.1848	19.247	20.6683	20.9324	22.3495

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a115	a116	a117
19	6.24364	13.2247	13.8019	13.8202
20	6.5804	16.9526	17.7123	17.7468
21	6.92126	18.9002	19.8735	19.9253
22	7.25835	19.7235	21.0733	21.1225
23	7.59033	20.1456	21.7112	21.7281
24	7.91785	20.5075	22.1497	22.1451
25	8.24035	21.068	22.6924	22.6787
26	8.5561	21.9104	23.4388	23.432
27	8.86446	23.0532	24.4808	24.496

a118	a119	a120	a121	a122
13.9848	13.9666	15.9826	15.9212	16.4448
18.0077	17.9715	20.3906	20.3068	20.963
20.278	20.2226	22.664	22.5652	23.3355
21.5269	21.4672	23.7037	23.6144	24.5485
22.2648	22.2308	24.2256	24.2125	25.4488
22.784	22.7837	24.6162	24.6872	26.0963
23.457	23.4918	25.1751	25.3217	26.8091
24.4913	24.5595	26.0722	26.3252	27.8124
25.7576	25.8941	27.2909	27.7378	29.1612

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a123	a124	a125	a126	a127
19	6.24364	16.5587	18.3922	18.9201	20.8759	23.3658
20	6.5804	21.1518	23.427	24.0717	26.5793	29.6717
21	6.92126	23.6097	25.9748	26.7064	29.4209	32.7315
22	7.25835	24.9148	27.1128	27.9803	30.6359	33.916
23	7.59033	25.8832	27.8324	28.9508	31.4228	34.5705
24	7.91785	26.6374	28.4279	29.869	32.1755	35.1607
25	8.24035	27.4379	29.1585	30.7978	33.0226	35.857
26	8.5561	28.6002	30.2478	31.9926	34.1704	36.8811
27	8.86446	30.2444	31.8169	33.6142	35.7587	38.3729

Table 10

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a31	a39	a47
23	7.59039	3.00576	5.06514	5.10558
24	7.91837	3.01471	5.02903	5.15323
25	8.24299	3.01521	4.94298	5.2525
26	8.56424	3.01325	4.85908	5.44651
27	8.88051	3.01067	4.85103	5.80077
28	9.19033	3.00855	4.9047	6.16595

a55	a63	a71	a79	a87
7.1829	7.36399	9.40778	9.97866	11.9726
7.09137	7.49702	9.33114	10.2798	12.0715
6.99479	7.78063	9.41075	10.7298	12.3819
7.03792	8.20414	9.70594	11.1945	12.8352
7.27604	8.65119	10.1481	11.7126	13.3887
7.62048	9.1003	10.6494	12.2729	13.99

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a91	a95	a99
23	7.59039	13.2711	13.31	15.2913
24	7.91837	13.6469	13.7232	15.5282
25	8.24299	14.0394	14.1918	15.868
26	8.56424	14.4815	14.7607	16.332
27	8.88051	15.0087	15.4694	16.9629
28	9.19033	15.6128	16.3067	17.7373

a103	a105	a107	a109	a111
15.4742	17.3547	17.3512	18.0704	18.0684
15.8383	17.6422	17.63	18.5331	18.5646
16.3878	18.063	18.0569	19.2456	19.3063
17.1154	18.6692	18.6814	20.0588	20.1804
18.0465	19.5044	19.5556	20.9859	21.2207
19.0349	20.4636	20.6034	21.9858	22.4417

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a113	a114	a115
23	7.59039	20.0969	20.1609	20.1629
24	7.91837	20.407	20.5507	20.5507
25	8.24299	20.9639	21.2055	21.201
26	8.56424	21.709	22.1296	22.1235
27	8.88051	22.6606	23.3164	23.314
28	9.19033	23.7938	24.766	24.7745

a116	a117	a118	a119	a120
21.7279	21.7465	22.2815	22.2454	24.2432
22.1927	22.1884	22.8258	22.8249	24.6608
22.8349	22.8208	23.5868	23.6205	25.3173
23.673	23.6637	24.6914	24.7556	26.2921
24.7694	24.7793	26.0235	26.1467	27.5656
26.1276	26.1798	27.5049	27.7411	29.0879

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a121	a122	a123
23	7.59039	24.2292	25.4672	25.9017
24	7.91837	24.7304	26.138	26.6779
25	8.24299	25.4596	26.9469	27.5712
26	8.56424	26.5298	28.0275	28.792
27	8.88051	27.9798	29.4218	30.4641
28	9.19033	29.7387	31.1175	32.4005

a124	a125	a126	a127
27.8518	28.9701	31.4434	34.5927
28.471	29.9084	32.2182	35.208
29.2992	30.9336	33.1673	36.0168
30.4569	32.2005	34.3923	37.1273
32.0524	33.855	36.0175	38.6617
33.9891	35.8209	37.9595	40.5278

Table 11

Results for 65536-4096B-ConQAM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a23	a31	a39
18	5.91408	1.16843	1.17311	3.11907
19	6.24366	1.51156	1.51303	3.46815
20	6.58041	2.38621	2.38605	4.41532
21	6.92126	2.81945	2.81808	4.88131
22	7.25834	2.96301	2.96225	5.03328
23	7.59039	3.00153	3.00832	5.06251
24	7.91842	2.99677	3.03285	5.02384
25	8.24361	2.95215	3.08428	4.92329
26	8.56801	2.86012	3.2277	4.86014
27	8.8917	2.80225	3.4857	4.98166
28	9.21284	2.83285	3.88559	5.29319
29	9.52887	2.88567	4.18088	5.60623

a47	a55	a63	a71	a79
3.13536	3.61987	3.59167	5.56771	5.53031
3.46981	4.40858	4.39723	6.37466	6.38617
4.41201	6.1171	6.11519	8.28208	8.34688
4.87812	6.90769	6.92887	9.16309	9.32954
5.04092	7.1544	7.22588	9.41797	9.73078
5.10473	7.17989	7.36148	9.4036	9.97501
5.16111	7.09139	7.50343	9.3345	10.2866
5.30792	7.01228	7.84233	9.45547	10.7845
5.69061	7.18491	8.4128	9.89536	11.384
6.15944	7.56438	8.9492	10.4355	11.992
6.64058	8.06361	9.52636	11.0608	12.6736
7.04718	8.53191	10.0637	11.6563	13.3202

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a109	a111	a113
18	5.91408	9.53499	9.51777	11.4683
19	6.24366	11.2343	11.2008	13.2951
20	6.58041	14.6729	14.6202	17.0464
21	6.92126	16.6599	16.6024	18.991
22	7.25834	17.5823	17.5492	19.7419
23	7.59039	18.0627	18.0609	20.0868
24	7.91842	18.5387	18.5701	20.4132
25	8.24361	19.2959	19.3555	21.0178
26	8.56801	20.2478	20.3611	21.904
27	8.8917	21.3052	21.5155	22.9758
28	9.21284	22.5012	22.8913	24.2747
29	9.52887	23.7476	24.422	25.7255

a115	a117	a118	a119	a120
11.4139	11.9184	12.0182	12.0158	13.8086
13.2234	13.8142	13.9856	13.9711	15.982
16.9509	17.732	18.0058	17.9778	20.3883
18.8994	19.8975	20.2717	20.23	22.6582
19.7241	21.0958	21.5226	21.477	23.6979
20.1525	21.7257	22.2693	22.2399	24.2311
20.5567	22.1965	22.8322	22.8299	24.6673
21.2542	22.8812	23.6384	23.6674	25.3722
22.3017	23.8566	24.8548	24.9151	26.4718
23.5879	25.0685	26.2956	26.406	27.8474
25.1741	26.5804	27.931	28.1191	29.5005
26.8893	28.286	29.6749	29.9991	31.3353

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a121	a122	a123
18	5.91408	13.7651	14.2379	14.2872
19	6.24366	15.9224	16.4465	16.5578
20	6.58041	20.3087	20.9666	21.149
21	6.92126	22.5673	23.343	23.6051
22	7.25834	23.6179	24.5625	24.9152
23	7.59039	24.2204	25.4579	25.8901
24	7.91842	24.736	26.1436	26.6831
25	8.24361	25.5103	26.9988	27.6204
26	8.56801	26.6973	28.2031	28.9506
27	8.8917	28.2315	29.6909	30.6926
28	9.21284	30.0821	31.4928	32.7365
29	9.52887	32.19	33.5445	34.9476

a124	a125	a126	a127
15.8387	16.3254	17.9036	20.0768
18.3929	18.92	20.8763	23.366
23.4279	24.0702	26.5794	29.6718
25.9757	26.7017	29.4194	32.7298
27.118	27.9772	30.6368	33.9169
27.8406	28.9567	31.43	34.5783
28.4768	29.9135	32.2239	35.2143
29.3517	30.9839	33.221	36.0762
30.6291	32.3714	34.5742	37.3286
32.2981	34.1046	36.2837	38.9559
34.3325	36.1746	38.3369	40.944
36.5808	38.4442	40.5883	43.1337

Table 12

Results for 65536-4900A-Con2Ai

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a15	a23	a31
22	7.25834	0.99956	2.9623	2.9615
23	7.59039	1.00062	3.00261	3.0095
24	7.91842	1.01191	3.01298	3.05271
25	8.24375	1.07978	3.05399	3.22539
26	8.5711	1.75148	3.71541	4.67358
27	8.90978	2.72176	4.73074	6.52297
28	9.24602	2.92863	4.94476	6.92158
29	9.57647	2.98633	5.00471	7.03251
30	9.90043	3.00049	5.01801	7.05527
31	10.2146	3.00318	5.01833	7.05212

a39	a47	a55	a63	a67	a71
5.03203	5.03968	7.15262	7.22408	9.41478	9.41648
5.06446	5.1067	7.18269	7.36434	9.4059	9.40869
5.05341	5.19257	7.13368	7.54865	9.39025	9.39047
5.11418	5.53229	7.29337	8.16528	9.8374	9.83646
6.56542	7.85173	9.69893	11.3102	13.2098	13.21
8.56484	10.489	12.6086	14.7216	16.9953	17.0046
8.99094	11.0666	13.2404	15.4754	17.8044	17.8568
9.10933	11.2244	13.409	15.6662	17.9289	18.1267
9.12775	11.2413	13.4104	15.6452	17.7561	18.2657
9.11344	11.2098	13.3505	15.5446	17.564	18.48

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a75	a79	a83
22	7.25834	9.72936	9.72735	11.8964
23	7.59039	9.98155	9.97621	11.9771
24	7.91842	10.3498	10.3469	12.148
25	8.24375	11.2178	11.22	12.917
26	8.5711	15.1115	15.1261	17.1866
27	8.90978	19.3509	19.4102	21.8433
28	9.24602	20.2137	20.4179	22.7226
29	9.57647	20.2694	20.8474	22.8519
30	9.90043	20.1345	21.2671	22.9989
31	10.2146	20.151	21.6185	23.2541

a87	a91	a95	a99	a103	a105
11.8889	12.8379	12.8461	15.0608	15.1506	16.984
11.9676	13.2716	13.3102	15.291	15.4738	17.3547
12.1506	13.7344	13.8115	15.6273	15.9388	17.7539
12.9465	14.6517	14.815	16.5562	17.0915	18.8353
17.2735	19.3608	19.7024	21.7577	22.687	24.7407
22.081	24.4657	25.1834	27.4975	29.0494	31.3587
23.312	25.5033	26.7806	28.9122	30.8772	33.1114
24.0274	25.94	27.651	29.6384	31.7226	33.8695
24.5647	26.3351	28.158	30.1175	32.2074	34.24
24.9256	26.691	28.5418	30.499	32.5713	34.5296

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a107	a109	a111	a113
22	7.25834	17.0006	17.578	17.5448	19.737
23	7.59039	17.3509	18.0698	18.068	20.0947
24	7.91842	17.7416	18.6493	18.6809	20.5349
25	8.24375	18.8285	20.0556	20.1173	21.8455
26	8.5711	24.748	26.4912	26.6219	28.6469
27	8.90978	31.4062	33.633	33.9074	36.2173
28	9.24602	33.2496	35.467	35.9881	38.1757
29	9.57647	34.1695	36.2139	37.0896	39.0838
30	9.90043	34.78	36.6436	37.9197	39.7293
31	10.2146	35.3668	37.0785	38.6111	40.3612

a115	a117	a118	a119	a120
19.7192	21.0906	21.5173	21.4716	23.6921
20.1605	21.7344	22.2781	22.2487	24.2407
20.6793	22.3289	22.9682	22.966	24.8143
22.09	23.7806	24.5656	24.5954	26.3677
29.1176	31.1533	32.3842	32.4552	34.5084
37.0666	39.409	41.2375	41.3839	43.6741
39.4556	41.6754	43.7482	44.0084	46.1813
40.7404	42.831	44.9114	45.3366	47.3618
41.5505	43.5978	45.6046	46.2303	48.1192
42.2294	44.2593	46.2142	47.1168	48.8656

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a121	a122	a123
22	7.25834	23.6121	24.5564	24.909
23	7.59039	24.23	25.4681	25.9004
24	7.91842	24.8834	26.2993	26.8421
25	8.24375	26.5106	28.0565	28.7015
26	8.5711	34.7771	36.7343	37.6672
27	8.90978	44.1945	46.4964	47.9379
28	9.24602	47.0117	49.2316	51.0982
29	9.57647	48.5306	50.588	52.6498
30	9.90043	49.6064	51.5399	53.6471
31	10.2146	50.5392	52.4442	54.5393

a124	a125	a126	a127
27.1112	27.9702	30.6292	33.9085
27.8517	28.9682	31.4425	34.592
28.6463	30.0916	32.4157	35.4239
30.5005	32.195	34.5196	37.4868
39.861	42.105	44.972	48.5689
50.472	53.2725	56.6851	60.8909
53.5839	56.4503	59.8328	63.9262
55.0914	57.8896	61.1243	64.9788
56.0304	58.716	61.7713	65.3631
56.8548	59.4219	62.302	65.6457

Table 13

Results for 65536-5476A-Con2AM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a15	a23	a31	a39
28	9.24604	2.92858	4.94473	6.9215	8.99087
29	9.5766	2.98611	5.0044	7.03201	9.10871
30	9.9011	3.00066	5.01846	7.05593	9.12872
31	10.2169	3.00233	5.01675	7.04986	9.11067

a47	a55	a63	a67	a71
11.0664	13.2403	15.4752	17.8042	17.8566
11.2236	13.408	15.6651	17.9282	18.1247
11.2426	13.4121	15.6474	17.7608	18.2638
11.2067	13.3472	15.5415	17.5603	18.4538

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a75	a79	a83	a87
28	9.24604	20.2136	20.4176	22.7225	23.3114
29	9.5766	20.2688	20.8439	22.8498	24.0218
30	9.9011	20.1364	21.2596	22.9947	24.5562
31	10.2169	20.1313	21.5877	23.222	24.8883

a91	a95	a99	a101	a103
25.503	26.7796	28.9114	30.8613	30.8907
25.9354	27.6446	29.632	31.6698	31.7623
26.3267	28.1474	30.1062	32.0828	32.3239
26.6497	28.4957	30.4494	32.3202	32.8221

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a105	a107	a109	a111
28	9.24604	33.107	33.2535	35.4661	35.9909
29	9.5766	33.8488	34.1911	36.2123	37.1142
30	9.9011	34.2031	34.8991	36.6929	38.0307
31	10.2169	34.5093	35.6457	37.2501	38.8148

a113	a115	a116	a117	a118
38.1766	39.4587	41.6556	41.6996	43.7465
39.0968	40.7596	42.7868	42.9122	44.9118
39.8202	41.6447	43.5655	43.8332	45.6748
40.5525	42.4154	44.242	44.7347	46.4223

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a119	a120	a121	a122
28	9.24604	44.0209	46.1861	47.024	49.2405
29	9.5766	45.4003	47.3941	48.5995	50.6426
30	9.9011	46.4716	48.2842	49.8156	51.7372
31	10.2169	47.5999	49.2532	50.9419	52.8383

a123	a124	a125	a126	a127
51.1089	53.5941	56.4602	59.8427	63.9362
52.7067	55.1471	57.9447	61.1793	65.0341
53.843	56.2249	58.9105	61.9672	65.5621
54.9281	57.2406	59.807	62.689	66.0375

Table 14

Results for 1024-100A-ConQAM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	η	λ	ξ	σ
7.	2.44315	1.	3.77418	3.77418	3.77418
7.5	2.57517	1.10378	3.45623	3.89014	6.30875
8.	2.7153	1.12763	3.51714	3.9596	6.54934
8.5	2.85595	1.15612	3.54897	4.0287	6.69477
9.	2.99655	1.19905	3.564	4.13485	6.80274
9.5	3.1373	1.28234	3.59819	4.38437	6.99551
10.	3.28017	1.43443	3.71087	4.88481	7.43429
10.5	3.42754	1.61857	3.89079	5.46175	8.01984
11.	3.57964	1.81445	4.10157	6.01296	8.6479
11.5	3.73577	2.02565	4.33275	6.54026	9.29979
12.	3.89502	2.25761	4.58741	7.0624	9.97725
12.5	4.05622	2.47625	4.8202	7.50717	10.5712
13.	4.2181	2.6684	5.02934	7.88158	11.0718
13.5	4.37927	2.81235	5.19094	8.15017	11.4231
14.	4.53861	2.91293	5.30992	8.32579	11.6372
14.5	4.69531	2.98308	5.39738	8.43104	11.7438
15.	4.84878	3.03258	5.45879	8.47927	11.7625

Results for 4096-100A-Con2AM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a15	a23	a30	a31
5.	1.9336	1.	3.33684	3.33684	3.33684
5.25	1.99605	1.	3.43909	3.43909	3.43909
5.5	2.05919	0.999999	3.52986	3.52986	3.52986
5.75	2.12284	1.	3.60773	3.60773	3.60773
6.	2.18683	1.	3.67143	3.67143	3.67143
6.25	2.251	1.	3.72006	3.72006	3.72006
6.5	2.3152	1.	3.75317	3.75317	3.75317
6.75	2.37928	1.	3.77092	3.77092	3.77092
7.	2.44536	1.05196	3.48842	3.80662	7.09664
7.5	2.58351	1.06769	3.56385	3.8927	7.28178
8.	2.72137	1.08868	3.58848	3.95824	7.35737
8.5	2.85844	1.1266	3.57861	4.05912	7.39274
9.	2.9954	1.21633	3.57795	4.35392	7.58179
9.5	3.13528	1.36575	3.65546	4.87534	8.0698
10.	3.28018	1.5291	3.79898	5.40701	8.6591
10.5	3.42996	1.70322	3.98135	5.92109	9.2786
11.	3.58385	1.89288	4.19003	6.42298	9.9104
11.5	3.74091	2.10198	4.41975	6.91549	10.5449
12.	3.90008	2.32626	4.66281	7.3906	11.162
12.	3.90008	2.32626	4.66281	7.39061	11.162
12.5	4.06016	2.5425	4.89626	7.81371	11.7053
13.	4.21984	2.72041	5.0915	8.14186	12.1074
13.5	4.37792	2.84944	5.23902	8.36471	12.3505
14.	4.53347	2.9389	5.34754	8.50209	12.463
14.5	4.68587	3.00196	5.42739	8.57594	12.4779
15.	4.8347	3.04628	5.48089	8.59489	12.4099
15.5	4.97962	3.07398	5.50398	8.55733	12.2594
16.	5.12024	3.0847	5.49175	8.46061	12.0264
16.5	5.25604	3.08572	5.45809	8.33075	11.7501
17.	5.38626	3.07826	5.4073	8.17877	11.4492
17.5	5.50981	3.06832	5.35386	8.0295	11.1599
18.	5.62538	3.0586	5.30473	7.89461	10.8988

Table 15

Results for 16384-100A-Con2AM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a31	a47	a62	a63
5.25	1.99605	1.	3.43909	3.43909	3.43909
5.5	2.05919	1.	3.52986	3.52986	3.52986
5.75	2.12284	1.	3.60773	3.60773	3.60773
6.	2.18683	1.	3.67143	3.67144	3.67144
6.25	2.251	1.	3.72006	3.72006	3.72006
6.5	2.31613	1.02391	3.51224	3.72839	7.77809
6.75	2.3838	1.0287	3.56833	3.78632	7.87779
7.	2.45151	1.03392	3.6082	3.83253	7.94314
7.25	2.51912	1.04004	3.63211	3.86907	7.97613
7.5	2.58653	1.04788	3.64097	3.90019	7.98166
7.75	2.65366	1.05904	3.63627	3.93419	7.96905
8.	2.72052	1.077	3.6202	3.98804	7.957
8.25	2.78721	1.11215	3.60432	4.11119	8.00731
8.5	2.85411	1.16359	3.57942	4.29739	8.11709
9.	2.99071	1.30183	3.61108	4.8015	8.59551
9.5	3.13221	1.44692	3.71795	5.28651	9.14736
10.	3.27844	1.60279	3.87269	5.7636	9.73013
10.5	3.42881	1.77381	4.06023	6.2403	10.3305
11.	3.58255	1.96167	4.26888	6.71009	10.9277
11.5	3.73873	2.17005	4.49761	7.17622	11.5231
12.	3.89635	2.39028	4.7357	7.62261	12.0885
12.5	4.05425	2.59558	4.95773	8.00897	12.559
13.	4.21122	2.75879	5.13833	8.29709	12.8747
13.5	4.36621	2.87527	5.27359	8.48577	13.0342
14.	4.51842	2.95655	5.37386	8.59751	13.0736

Results for 65536-100A-ConQAM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a63	a95	a126	a127
5.5	2.05919	1.	3.52986	3.52986	3.52986
5.75	2.12284	0.999999	3.60772	3.60772	3.60772
6.	2.18714	1.00921	3.4876	3.62367	8.31918
6.25	2.25339	1.01203	3.56059	3.69607	8.43219
6.5	2.31984	1.01496	3.61729	3.75506	8.50984
6.75	2.38631	1.01827	3.65722	3.80118	8.55176
7.	2.45268	1.02239	3.68033	3.83639	8.55971
7.25	2.51884	1.02818	3.68699	3.86535	8.53856
7.5	2.5847	1.0377	3.67755	3.8989	8.49932
7.75	2.65027	1.05675	3.65138	3.96586	8.47085
8.	2.71574	1.09889	3.61037	4.13089	8.53193
8.5	2.84874	1.22647	3.57826	4.62508	8.95604
9.	2.98625	1.35691	3.64019	5.07794	9.45664
9.5	3.12833	1.49685	3.76193	5.52331	9.99357
10.	3.27466	1.65059	3.92372	5.97499	10.5567
10.5	3.42467	1.82023	4.11294	6.42993	11.13
11.	3.57762	2.00837	4.32292	6.88385	11.7024
11.5	3.73264	2.21646	4.55099	7.3344	12.2691
12.	3.88873	2.43231	4.78369	7.75949	12.7913
12.5	4.04481	2.6289	4.99667	8.12024	13.2067
13.	4.19972	2.78199	5.16719	8.38251	13.4608
13.5	4.3525	2.89065	5.2947	8.55063	13.5628
14.	4.50245	2.96708	5.38985	8.64754	13.5519

Table 16

Results for 262144-100A-ConQAM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a127	a191	a254	a255
4.5	1.81146	1.	3.10389	3.1039	3.10389
4.75	1.87201	1.	3.22462	3.22462	3.22462
5.	1.9336	1.	3.33684	3.33684	3.33685
5.25	1.99605	1.	3.43909	3.43909	3.43909
5.5	2.05923	1.00221	3.39975	3.481	8.70987
5.75	2.12399	1.00573	3.50179	3.58031	8.87606
6.	2.1892	1.00547	3.5704	3.64845	8.96211
6.25	2.25468	1.00358	3.60596	3.69311	8.96157
6.5	2.32026	1.00891	3.67895	3.76168	9.07231
6.75	2.38581	1.0102	3.70543	3.79463	9.06545
7.	2.45118	1.01451	3.72068	3.82553	9.03972
7.25	2.51629	1.02038	3.71589	3.8514	8.982
7.5	2.58108	1.03447	3.69012	3.9055	8.92556
7.75	2.64572	1.07709	3.63331	4.08787	8.98012
8.	2.71088	1.14076	3.58468	4.35479	9.18293
8.25	2.77703	1.20187	3.57088	4.59047	9.40759
8.5	2.84428	1.26212	3.58269	4.80699	9.63732
9.	2.98206	1.38802	3.6605	5.22731	10.123
9.5	3.12413	1.5264	3.79027	5.65571	10.6467
10.	3.27019	1.67954	3.95583	6.0952	11.1954
10.5	3.4197	1.84893	4.14625	6.53934	11.7516
11.	3.57194	2.03699	4.35613	6.98325	12.3052
11.5	3.72605	2.24401	4.58232	7.42251	12.8481
12.	3.88107	2.45732	4.8123	7.83623	13.3444
12.5	4.03592	2.6482	5.01939	8.18125	13.7217
13.	4.18951	2.79518	5.1838	8.42837	13.9336
13.5	4.34091	2.89936	5.30683	8.58496	13.9959
14.	4.48949	2.97306	5.39902	8.67361	13.9493

Table 17

Results for 1024-144A-Con2AM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	η	λ	ν	ξ	o
6.	2.18683	1.	3.67143	3.67144	3.67144	3.67144
6.5	2.3152	1.	3.75317	3.75317	3.75317	3.75317
7.	2.44315	1.	3.77418	3.77418	3.77418	3.77418
7.5	2.57699	1.10881	3.44715	3.80228	4.1827	6.27365
8.	2.71714	1.13545	3.50972	3.87984	4.27142	6.52131
8.5	2.85795	1.1688	3.54487	3.95855	4.38886	6.67925
9.	2.99902	1.22034	3.56744	4.07509	4.6055	6.81121
9.5	3.14087	1.30408	3.60973	4.28762	4.99147	7.01011
10.	3.2847	1.42499	3.70158	4.64432	5.44005	7.34481
10.5	3.43188	1.59587	3.8664	5.18444	5.92116	7.87536
11.	3.58344	1.79583	4.08018	5.7745	6.42259	8.51585
11.5	3.73913	2.01159	4.31615	6.33522	6.92502	9.1864
12.	3.89807	2.24082	4.56502	6.86024	7.42467	9.85829
12.5	4.05913	2.46623	4.80808	7.32755	7.89946	10.4829
13.	4.22104	2.65816	5.01664	7.69511	8.32013	10.9945
13.5	4.38262	2.79889	5.17337	7.93336	8.71883	11.3706
14.	4.54376	2.8864	5.27183	8.03974	9.30507	11.7299
14.5	4.70624	2.94611	5.3377	8.14305	9.90797	12.1885
15.	4.87019	2.99325	5.39127	8.24054	10.3204	12.6276
15.5	5.03468	3.02949	5.43251	8.30393	10.5947	12.9948
16.	5.19853	3.05654	5.4597	8.32685	10.7486	13.2314
16.5	5.3604	3.0738	5.46734	8.30334	10.7897	13.3145
17.	5.51897	3.08059	5.45166	8.23255	10.7329	13.2592
17.5	5.67298	3.07851	5.41588	8.12514	10.6051	13.1035

Results for 4096-144A-ConQAM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a15	a23	a27	a30	a31
6.	2.18683	1.	3.67143	3.67143	3.67143	3.67143
6.25	2.251	1.	3.72006	3.72006	3.72006	3.72006
6.5	2.3152	0.999999	3.75316	3.75316	3.75316	3.75316
6.75	2.37928	1.	3.77092	3.77092	3.77092	3.77092
7.	2.44634	1.0551	3.47568	3.72861	3.97285	7.05066
7.25	2.51536	1.06353	3.52086	3.7797	4.02149	7.16425
7.5	2.58444	1.07285	3.55231	3.82253	4.06562	7.2459
7.75	2.65346	1.08388	3.57079	3.85983	4.10987	7.29997
8.	2.72236	1.09802	3.57788	3.89673	4.16322	7.33376
8.5	2.85981	1.14838	3.57043	4.01152	4.38837	7.40089
9.	2.99845	1.24628	3.5807	4.22611	4.96712	7.61581
9.5	3.14034	1.34272	3.63403	4.45425	5.46005	7.90142
10.	3.28531	1.46892	3.73945	4.83894	5.86546	8.32962
10.5	3.4341	1.64961	3.9219	5.42718	6.3116	8.97018
11.	3.58716	1.85334	4.14408	6.0277	6.78312	9.66686
11.5	3.74374	2.06972	4.38194	6.57312	7.26767	10.3446
12.	3.90272	2.2953	4.62666	7.05929	7.76479	10.9865
12.5	4.06301	2.50574	4.8532	7.44436	8.27011	11.55
13.	4.22388	2.66433	5.0241	7.66401	8.82842	12.0311
13.5	4.38588	2.77706	5.14583	7.81442	9.43219	12.5442
14.	4.54957	2.86836	5.24591	7.98391	9.96648	13.0527
14.5	4.71444	2.93977	5.32717	8.13911	10.3856	13.4701
15.	4.87935	2.99371	5.39165	8.25573	10.6795	13.7605
15.5	5.04305	3.03391	5.43987	8.32546	10.8569	13.9203
16.	5.2044	3.06256	5.46917	8.34521	10.9295	13.9558
16.5	5.36239	3.07768	5.47085	8.30651	10.8979	13.8642
17.	5.51609	3.08178	5.44784	8.22013	10.7856	13.6737
17.5	5.66448	3.07744	5.40613	8.10132	10.62	13.4192

Table 18

Results for 16384-144A-ConQAM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a31	a47	a55	a62	a63
5.25	1.99605	1.	3.43909	3.43909	3.43909	3.43909
5.5	2.05919	1.	3.52986	3.52986	3.52986	3.52986
5.75	2.12284	1.	3.60773	3.60773	3.60773	3.60773
6.	2.18683	1.	3.67143	3.67143	3.67143	3.67143
6.25	2.251	0.999999	3.72006	3.72006	3.72006	3.72006
6.5	2.31644	1.02485	3.50472	3.67859	3.80851	7.75012
6.75	2.38409	1.03	3.56129	3.7392	3.86544	7.8529
7.	2.45179	1.03566	3.60145	3.78785	3.9121	7.92096
7.25	2.51939	1.04239	3.62545	3.82667	3.95137	7.95658
7.5	2.5868	1.05121	3.63412	3.86001	3.98928	7.96501
7.75	2.65397	1.06406	3.62855	3.89698	4.03821	7.95649
8.	2.7209	1.08621	3.61118	3.95414	4.13081	7.95404
8.25	2.78783	1.1295	3.58503	4.06582	4.35883	8.01287
8.5	2.85565	1.19744	3.5648	4.18403	4.86768	8.19325
8.75	2.92508	1.24232	3.56846	4.22771	5.24548	8.35103
9.	2.99562	1.27759	3.58445	4.27838	5.48227	8.48752
9.5	3.13888	1.3528	3.63644	4.44456	5.83144	8.78285
10.	3.28461	1.46449	3.73267	4.77365	6.1747	9.1987
10.5	3.43347	1.64163	3.91169	5.33955	6.61426	9.826
11.	3.58613	1.85222	4.14176	5.95684	7.10365	10.5313
11.5	3.74199	2.06717	4.37819	6.48387	7.61025	11.2034
12.	3.90015	2.27735	4.60564	6.90632	8.15	11.8428
12.5	4.06008	2.46933	4.81134	7.24162	8.72027	12.4653
13.	4.22163	2.63368	4.98772	7.52637	9.29349	13.0709
13.5	4.38476	2.7666	5.13171	7.7793	9.83242	13.6286
14.	4.54911	2.86828	5.24435	7.99536	10.2955	14.0918
14.5	4.71389	2.9431	5.33105	8.16361	10.6511	14.4255
15.	4.87797	2.99784	5.39775	8.2801	10.8928	14.6226
15.5	5.04024	3.03788	5.44614	8.34456	11.0274	14.6903
16.	5.19969	3.06508	5.47239	8.35463	11.0607	14.634
16.5	5.35544	3.07939	5.4717	8.30836	10.999	14.4606

Results for 65536-144A-Con2AM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a63	a95	a111	a126	a127
5.5	2.05919	1.	3.52986	3.52986	3.52986	3.52986
5.75	2.12284	1.	3.60773	3.60773	3.60773	3.60773
6.	2.18722	1.00935	3.48448	3.59584	3.66062	8.30551
6.25	2.25346	1.01229	3.55775	3.66982	3.73169	8.42001
6.5	2.3199	1.01535	3.61463	3.73025	3.78978	8.4989
6.75	2.38638	1.01881	3.65466	3.77766	3.83557	8.54195
7.	2.45275	1.02314	3.67776	3.81401	3.8714	8.55095
7.25	2.5189	1.0293	3.68421	3.84395	3.90277	8.5309
7.	2.45275	1.02314	3.67776	3.81401	3.87141	8.55096
7.25	2.5189	1.0293	3.68421	3.84395	3.90277	8.53091
7.5	2.58477	1.03959	3.67416	3.87837	3.94303	8.49331
7.75	2.65036	1.06078	3.6463	3.94613	4.03125	8.46944
8.	2.71596	1.11078	3.60022	4.10252	4.29073	8.55034
8.25	2.78319	1.19285	3.54219	4.14842	5.11132	8.87453
8.5	2.85268	1.22534	3.54452	4.15479	5.41485	9.04739
8.75	2.92316	1.25353	3.55962	4.18616	5.61216	9.19174
9.	2.99434	1.28183	3.57945	4.23298	5.77076	9.3268
9.5	3.13823	1.37209	3.69748	4.46176	6.16017	9.80375
10.	3.28401	1.44755	3.71668	4.66772	6.34008	9.95763
10.5	3.43221	1.61186	3.87994	5.17898	6.76318	10.5291
11.	3.58389	1.81809	4.10311	5.77714	7.27461	11.2255
11.5	3.73887	2.0335	4.33969	6.312	7.81042	11.9206
12.	3.89644	2.24988	4.57444	6.772	8.37274	12.6081
12.5	4.05611	2.45455	4.79443	7.16877	8.95379	13.2815
13.	4.2176	2.63066	4.98372	7.50767	9.52277	13.9069
13.5	4.3806	2.76974	5.13467	7.79135	10.042	14.4447
14.	4.54456	2.87315	5.24991	8.0182	10.4743	14.8583
14.5	4.70858	2.94775	5.33726	8.1864	10.7968	15.1286
15.	4.87156	3.00183	5.4038	8.29877	11.0088	15.2599
15.5	5.03246	3.04111	5.45117	8.35766	11.1181	15.2635
16.	5.19035	3.06732	5.47532	8.36102	11.1292	15.1451
16.5	5.34441	3.08046	5.47183	8.30803	11.0482	14.9128

Table 19

Results for 262144-144A-ConQAM

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a127	a191	a223	a254	a255
4.5	1.81146	1.	3.1039	3.1039	3.1039	3.10391
4.75	1.87201	1.	3.22462	3.22462	3.22462	3.22463
5.	1.9336	1.	3.33684	3.33684	3.33684	3.33684
5.25	1.99605	1.	3.43909	3.43909	3.43909	3.43909
5.5	2.05925	1.00219	3.39862	3.46619	3.49838	8.70357
5.75	2.12401	1.0039	3.49134	3.55725	3.58766	8.84714
6.	2.18921	1.00552	3.56951	3.63534	3.66415	8.95707
6.25	2.25469	1.00718	3.63204	3.69963	3.72706	9.03111
6.5	2.32028	1.00904	3.67816	3.74999	3.77628	9.06818
6.75	2.38582	1.01137	3.70746	3.78739	3.8129	9.06887
7.	2.45119	1.01478	3.71984	3.81494	3.84027	9.03637
7.25	2.5163	1.02084	3.71483	3.84113	3.86766	8.97903
7.5	2.5811	1.03554	3.68839	3.89528	3.92806	8.92382
7.75	2.64576	1.08046	3.62934	4.06959	4.1432	8.98191
8.	2.71201	1.17622	3.51898	4.09325	5.17028	9.45711
8.25	2.78117	1.20531	3.52013	4.09132	5.44933	9.64793
8.5	2.85131	1.23101	3.53576	4.11623	5.6363	9.79644
8.75	2.92213	1.24963	3.52938	4.11192	5.75442	9.85224
9.	2.99345	1.25885	3.52584	4.12655	5.82829	9.85827
9.25	3.06524	1.31184	3.60159	4.26661	6.03822	10.1523
9.5	3.13737	1.34564	3.62916	4.35012	6.15541	10.2676
10.	3.2827	1.44217	3.71241	4.62635	6.43092	10.5816
10.5	3.43022	1.60268	3.87087	5.12186	6.84604	11.1283
11.	3.58111	1.80761	4.09172	5.7144	7.36603	11.8264
11.5	3.73537	2.02475	4.32994	6.25786	7.91633	12.5371
12.	3.89238	2.24538	4.56942	6.7377	8.49195	13.2449
12.5	4.05164	2.44436	4.77646	7.1292	9.04206	13.8511
13.	4.2128	2.63436	4.98768	7.51467	9.64848	14.5544
13.5	4.37547	2.76706	5.1173	7.78325	10.095	14.9869
14.	4.53888	2.87744	5.25509	8.03581	10.5717	15.4451
14.5	4.70222	2.9512	5.34201	8.20164	10.8754	15.6705
15.	4.86437	3.00457	5.40798	8.31043	11.0706	15.756
15.5	5.02431	3.04322	5.4544	8.3653	11.1655	15.7146
16.	5.18117	3.0687	5.47702	8.36432	11.164	15.552
16.5	5.33414	3.08105	5.47172	8.30719	11.0722	15.2774
17.	5.4824	3.08205	5.44105	8.20422	10.9099	14.919
17.5	5.62497	3.07577	5.3948	8.07607	10.7099	14.522
18.	5.76061	3.06657	5.34421	7.94412	10.5044	14.1298
18.5	5.88785	3.05722	5.29669	7.82186	10.3134	13.769
19.	6.00513	3.04894	5.25532	7.71472	10.1453	13.4493

Table 20

Results for 256-64A-ConQAM

This condensation groups the original 256-QAM points as $\{4, 2, 1, 1\}$, in other words it uses the condensation rules $\{\alpha \to 1, \beta \to 1, \gamma \to 1, \delta \to \epsilon\}$.

SNR, dB	capacity, bit/symbol	ϵ	ζ	η
6.	2.18683	3.67143	3.67143	3.67143
6.5	2.3152	3.75317	3.75317	3.75317
7.	2.44315	3.77418	3.77418	3.77418
7.5	2.56994	3.70261	3.78521	3.78521
8.	2.70351	3.19972	3.63027	5.07324
8.5	2.84188	3.18815	3.60007	5.25256
9.	2.98189	3.18038	3.58275	5.3602
9.5	3.12271	3.16568	3.56956	5.41518
10.	3.26357	3.14192	3.56541	5.43162
10.5	3.40385	3.10912	3.59045	5.42773

Results for 256-36A-ConQAM

This condensation groups the original 256-QAM points as $\{4, 3, 1\}$, in other words it uses the condensation rules $\{\alpha \to 1, \beta \to 1, \gamma \to 1, \delta \to \zeta, \epsilon \to \zeta\}$.

SNR, dB	capacity, bit/symbol	ζ	η
8.	2.69686	3.32811	5.12883
8.5	2.83536	3.30861	5.31059
9.	2.97552	3.29574	5.41515
9.5	3.1164	3.278	5.46449
10.	3.25713	3.25425	5.47244
10.5	3.39683	3.22692	5.45281

SNR, dB	capacity, bit/symbol	a83	a87	a91
18	5.91408	6.63695	6.67039	6.89446
19	6.24366	7.97494	8.01154	8.27714
20	6.58041	10.4571	10.4905	10.9065
21	6.92126	11.5614	11.5707	12.2579
22	7.25834	11.8991	11.8921	12.8414
23	7.59039	11.972	11.9634	13.2668
24	7.91842	12.0755	12.0785	13.6528
25	8.24361	12.42	12.4482	14.0898
26	8.56801	12.984	13.0618	14.6633
27	8.8917	13.5794	13.7602	15.2722
28	9.21284	14.2369	14.5937	16.0194
29	9.52887	14.8788	15.4698	16.8337

a95	a99	a103	a105	a107
6.86107	8.81386	8.74249	9.3444	9.3619
8.23564	10.2874	10.205	10.952	10.9848
10.8597	13.2541	13.1793	14.2801	14.3304
12.2332	14.6075	14.6076	16.2043	16.252
12.849	15.0646	15.1543	16.9883	17.0048
13.3048	15.2851	15.4677	17.3479	17.3442
13.7294	15.5345	15.8442	17.6485	17.6363
14.2481	15.9233	16.4409	18.1185	18.1121
14.9629	16.5284	17.305	18.8657	18.8754
15.8167	17.2741	18.3634	19.8234	19.8662
16.8847	18.2495	19.5472	20.9809	21.092
17.972	19.3183	20.7306	22.1587	22.4065

【符号の説明】

【０１２２】

１２：入力
１４：ＭＰＥＧ－２コーダー
１６：ビデオコーダー
１８：オーディオコーダー
２０：データコーダー
２２：番組マルチプレクサ
２４：トランスポートストリームマルチプレクサ
２６：ランダマイザー
２８：端子
３０：チャンネルコード化区分
３２：外部コーダー
３４：外部インターリーバー
３６：内部コーダー
３８：内部インターリーバー
４０：１ビット遅延
４２、４４：加算器
４５：シリアライザ

４６：マッパー
４８：フレームアダプタ
５０：ＯＦＤＭコーダー
５２：逆高速フーリエ変換（ＦＦＴ）回路
５４：ガードインターバル挿入回路
５６：デジタル／アナログコンバータ
５８：送信器フロントエンド
６０：アンテナ
１００：受信器
１０４：チューナ
１０６：アナログ／デジタルコンバータ
１０８：ＯＦＤＭデコーダ
１１０：チャンネルイコライザー
１１２：回路
１２０：エラー修正ブロック
１２２：内部デインターリーバー
１２４：内部デコーダ
１２６：外部デインターリーバー
１２８：外部デコーダ
１３０：エネルギー分散除去段
１３４：ＭＰＥＧ－２トランスポートストリームデマルチプレクサ
１３６：ＭＰＥＧ－２　デコーダ
１４０：出力

【図１】

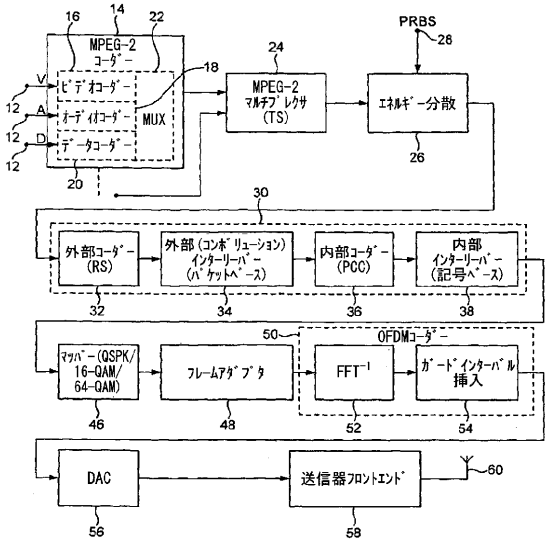


FIG. 1

【図２】

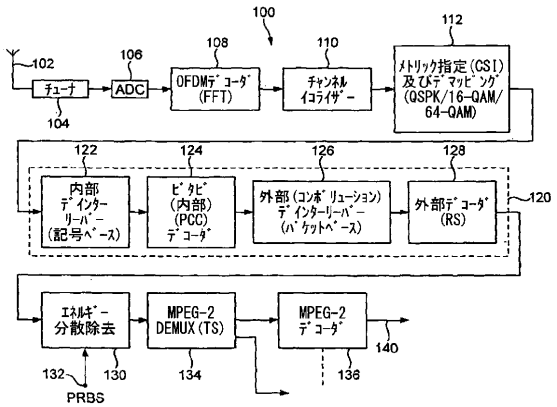


FIG. 2

【図３】

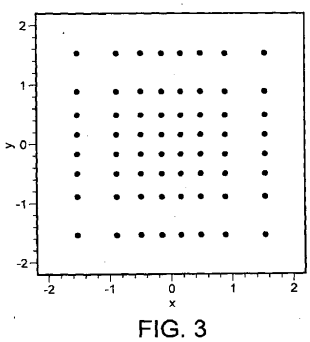


FIG. 3

【図４】

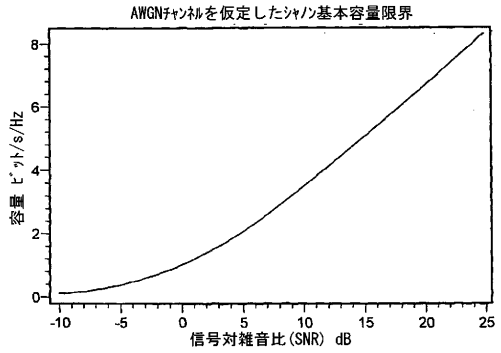


FIG. 4

【図５】

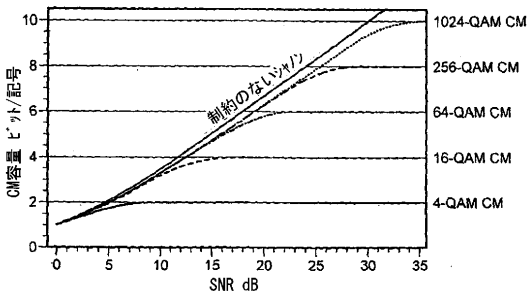


FIG. 5

【図６】

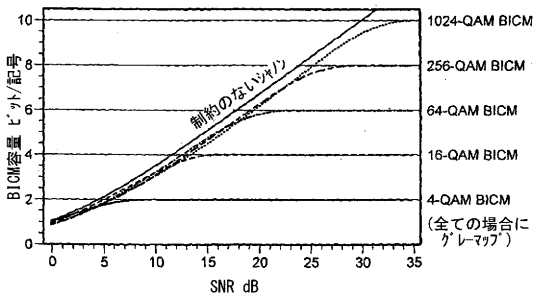


FIG. 6

【図７】

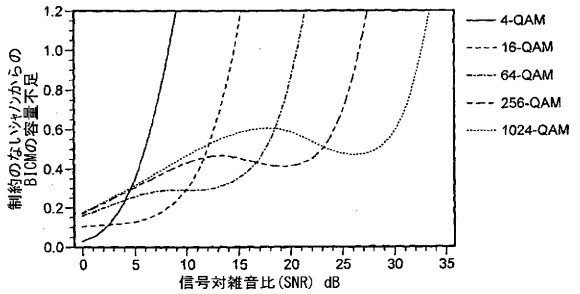


FIG. 7

【図８】

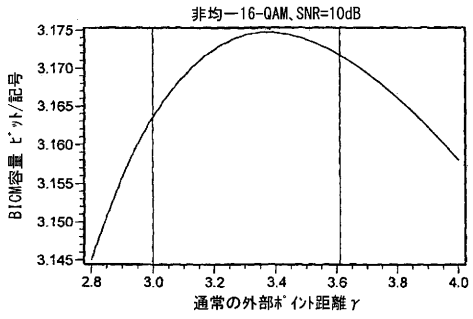


FIG. 8

【図９】

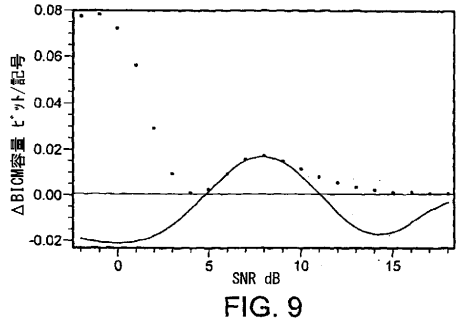


FIG. 9

【図１０】

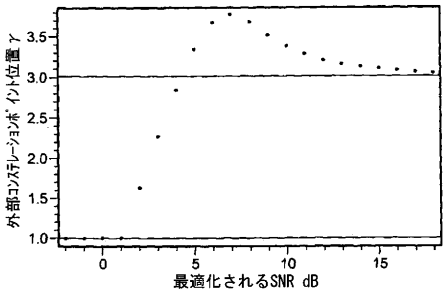


FIG. 10

【図１１】

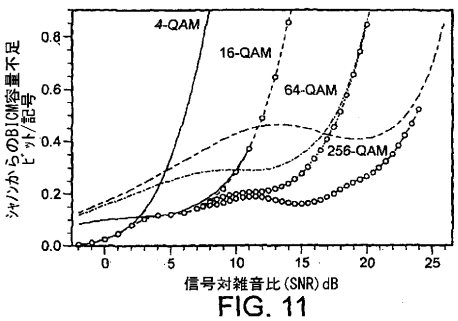


FIG. 11

【図１２】

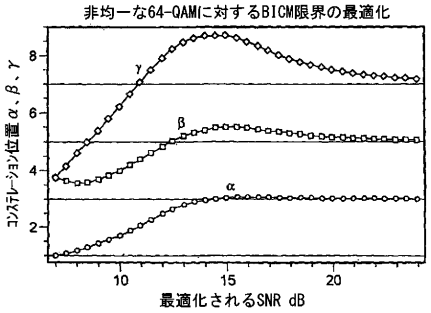


FIG. 12

【図１３】

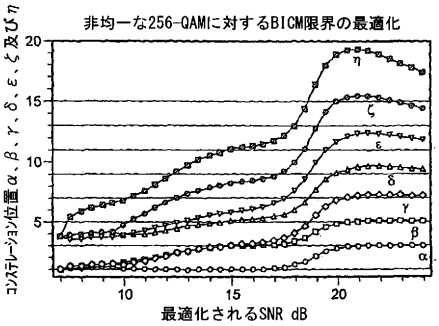


FIG. 13

【図１４】

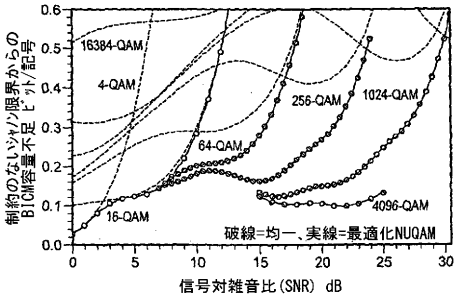


FIG. 14

【図１５】

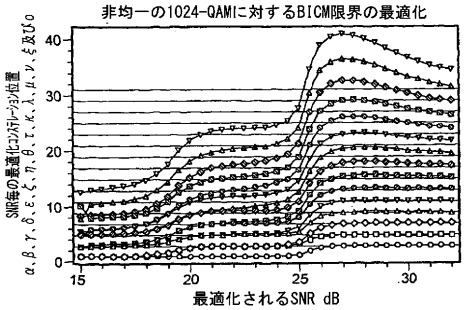


FIG. 15

【図１６】

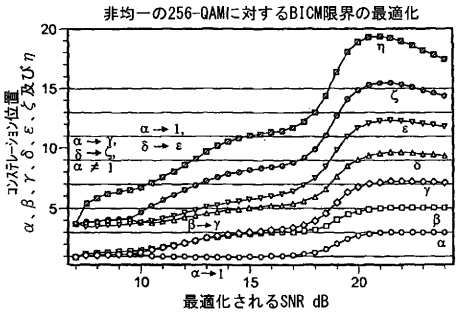


FIG. 16

【図１７】

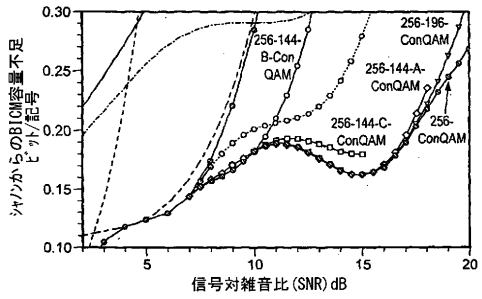


FIG. 17

【図１８】

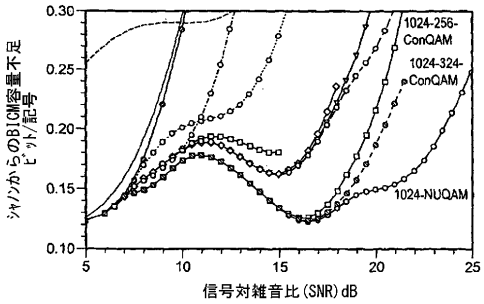


FIG. 18

【図１９】

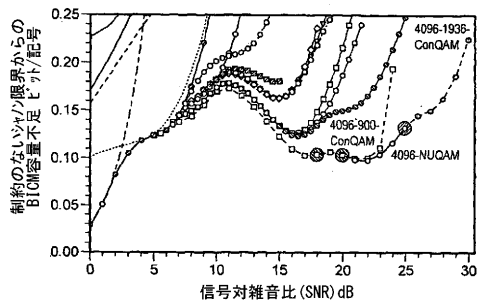


FIG. 19

【図２０】

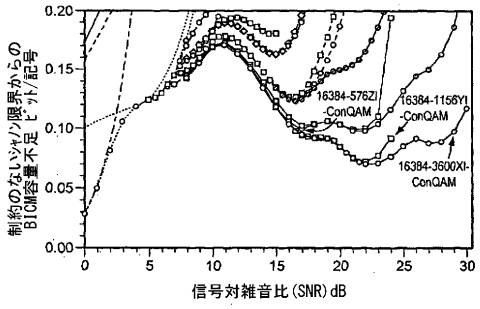


FIG. 20

【図２１】

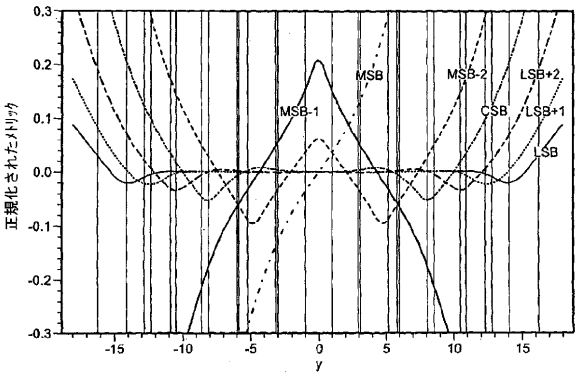


FIG. 21

【図２２】

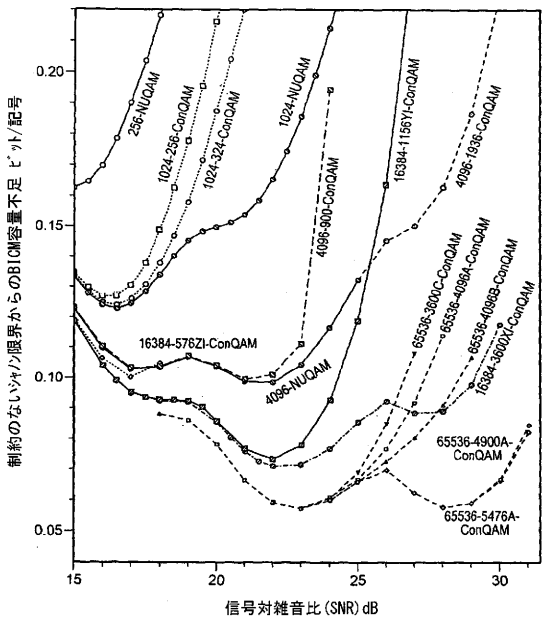


FIG. 22

【図２３】

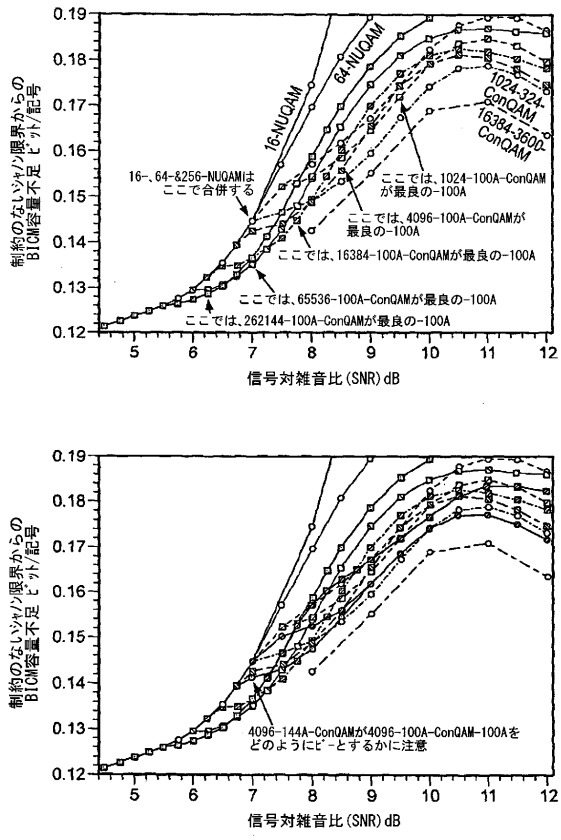


FIG. 23

【図２４】

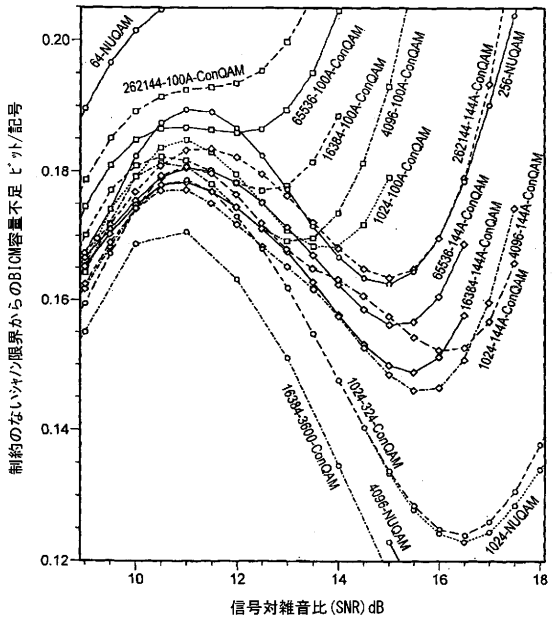

制約のないシャノン限界からのBICM容量不足 ビット/記号
0.20
0.18
0.16
0.14
0.12
10
12
14
16
18
信号対雑音比(SNR) dB
64-NUQAM
262144-100A-ConQAM
65536-100A-ConQAM
16384-100A-ConQAM
4096-100A-ConQAM
1024-100A-ConQAM
262144-144A-ConQAM
256-NUQAM
65536-144A-ConQAM
16384-144A-ConQAM
4096-144A-ConQAM
1024-144A-ConQAM
16384-3600-ConQAM
1024-324-ConQAM
4096-NUQAM
1024-NUQAM

FIG. 24

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/GB2013/000046

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04L27/34 H04L1/00 H03M13/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H04L H03M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2 216 951 A1 (LG ELECTRONICS INC [KR]) 11 August 2010 (2010-08-11) paragraph [0171] paragraph [0183] paragraph [0189] paragraph [0242] paragraph [0271] -----	1-51
X	EP 2 180 648 A1 (LG ELECTRONICS INC [KR]) 28 April 2010 (2010-04-28) paragraph [0067] paragraph [0085] paragraph [0086] -----	1-51

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
2 July 2013	08/07/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Anghel, Paul

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/GB2013/000046

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2216951 A1	11-08-2010	AT 519311 T	15-08-2011
		CN 102301704 A	28-12-2011
		DK 2216951 T3	21-11-2011
		EP 2216951 A1	11-08-2010
		EP 2385669 A2	09-11-2011
		EP 2385670 A2	09-11-2011
		ES 2374018 T3	13-02-2012
		PL 2216951 T3	31-01-2012
		PT 2216951 E	21-11-2011
		SI 2216951 T1	30-12-2011
		WO 2010090374 A1	12-08-2010
EP 2180648 A1	28-04-2010	AT 478505 T	15-09-2010
		AT 511285 T	15-06-2011
		AU 2009307270 A1	29-04-2010
		CN 102100046 A	15-06-2011
		DK 2180648 T3	13-12-2010
		DK 2239904 T3	12-09-2011
		EP 2180648 A1	28-04-2010
		EP 2239904 A1	13-10-2010
		EP 2360884 A1	24-08-2011
		ES 2350681 T3	26-01-2011
		ES 2364605 T3	07-09-2011
		HR P20110416 T1	31-07-2011
		PT 2239904 E	04-07-2011
		SI 2239904 T1	29-07-2011
		US 2011188588 A1	04-08-2011
		WO 2010047451 A1	29-04-2010

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC

(74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
(74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
(74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
(74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
(72)発明者 ストット ジョナサン
イギリス アールエイチ６ ９エイアール サリー ホーリー スモールフィールド シャーロット グローブ ３６

Ｆターム(参考) 5K004 AA08 JD05 JF01