

センシングと信号伝送の融合に関する研究 A Combining Method of Multi-Detection and Signal Transmission

郡 武治*

Takeharu KOHRI

Abstract:

In the ubiquitous sensor networks, the environmental information such as temperature, humidity and a variety of information will be transmitted. In heterogeneous network, it is necessary to control the optimal transmission path for transmission. Due to the propagation environment or transmission system congestion, transmission can be interrupted for hours^{(16)~(19)}.

I propose a combining method of multi-detection and signal transmission. It is possible to detect several information with n dimensional data by using proposed combining method of multi-detection and signal transmission.

The information detected in a variety of sensing nodes treated as a single n-dimensional information transfer to multiple heterogeneous transmission line. The information gathered was forwarded, using the maximum likelihood detection circuit, and estimate the maximum likelihood path.

Keyword Sensor Network, n dimensional, Euclidean Space, Maximum Likelihood detection, Viterbi algorithm

1. まえがき

センサーネットワークでは、さまざまなセンシングが行われ、センシング情報は無線等の伝送路で伝送される。多種のセンシングデータは曖昧度を持ち、多くは正規分布する。また、情報伝送する伝送信号も受信雑音により、曖昧度を有する。両者の曖昧度は正規分布である。筆者は、このことに着目し、曖昧度の性質が同一であることを用いたセンシングと信号伝送の融合方法を考えた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。具体的な方法としては、各ノードで検知した多種のセンシング情報を1つのn次元ユークリッド空間上の情報として扱い、1ルート又は複数ルートで信号伝送した後、1カ所において、論理的に合成し、元のセンシング情報を検出する情報伝送方法が考えられる。

このようなセンシング方法の信号伝送法は、次の優れた特徴を持つ。

- ・センシングの曖昧度と信号伝送の曖昧度を合わせて一体処理による曖昧度改善ができる。
- ・同じセンシング情報が異なる複数ルートで伝送されたとしても、源情報は一つであるので、このことを用いて補正できる。
- ・センシング情報の時間的な冗長性、多種センシング情報の相関性を用いて最尤検出が可能になる。

本文では、最初に、温度、圧力、明度など多くの種類のセンシングデータの曖昧度を揃えた正規化n次元センシングデータを定義し、伝送路において受ける受信雑音の影響を述べる。次にセンシング情報

と伝送信号の曖昧度の改善方法として、複数ルートによるシームレスなセンサーネットワークを示し、合成法による改善方法とビタビアルゴリズムを用いた改善方法を述べる。どちらも、伝送信号の誤り訂正、再送などによる改善ではなく、源情報であるセンシング情報を用いた曖昧度改善方法である。

続いて、システム構築のために必要な条件を考える。最初に解決しなければならないのは、n次元センシングデータと信号伝送では、それぞれユークリッド距離とハミング距離で定義され、本質的な違いがあることである。これを超えて融合するためには、グレイ符号化する必要があることを説明し、具体的な伝送回路の構成を示す。最後にビタビアルゴリズムを用いた手法について、計算機シミュレーションにより、実現性を確かめた。この結果、センシング情報の時間的な冗長性を用いた品質改善ばかりでなく、転送データの欠落も補償でき、欠落が1サンプルの当たりの最大偏移の5倍程度になったとしても、十分リアルタイムに情報補間できることが分った⁽⁴⁾。

2. センシングと信号伝送を融合させたセンサーネットワークシステム

(1) システムの構成

センシングと信号伝送を融合させたシステムの構成を図1に示す。温度、湿度、対人センサなど各種センシングデータをA/Dコンバータを用いてサンプリングし、電圧として測定し、量子化された情報を

デジタル伝送する。ここで、センシングデータと伝送信号が正規分布する曖昧度を有した場合、白色雑音の加算として統合された簡易な伝送モデルとして表すことができる。

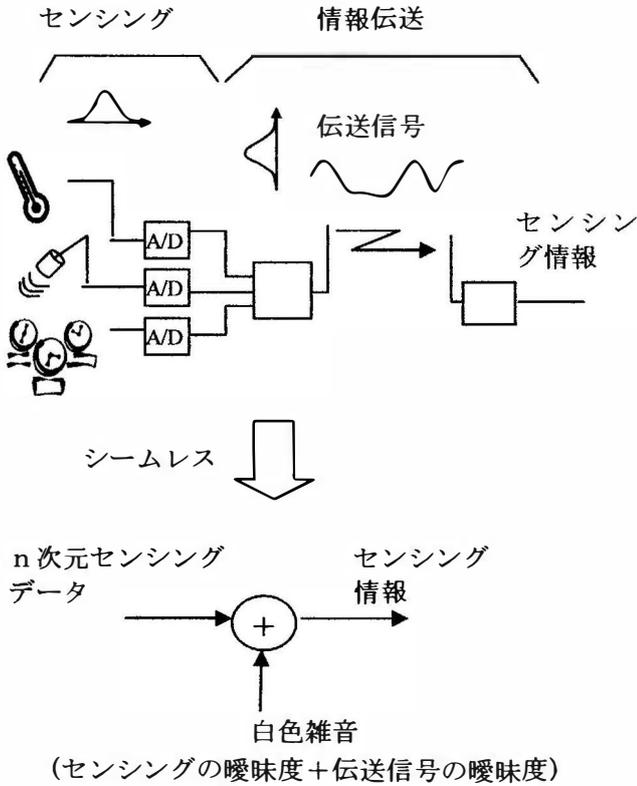


図 1 センシングと信号伝送を融合させたシステムの構成

(2) センシングデータの n 次元化

温度、湿度、圧力、明度、照度など多くの種類の情報を検出した場合、それぞれ、センサーの精度、外部じょう乱により、検出データは曖昧度を持つ。この曖昧度は正規分布する場合が多い。

図 2 に測定データの確率密度の例を示す。

各センサーから出力されるアナログ信号は正規分布であるが、曖昧度を統一する必要がある。このため増幅回路の利得を調整し、曖昧度を電圧レベルで一致させることにより、各情報を同一に扱えるようにする。すなわち、各センサーのバラつきを数値化した標準偏差が一致するように利得調整し正規化することにより、センシングデータ間の情報距離をユークリッド距離で表すことができるようになる。図 3(a) に利得調整し正規化する回路の構成、(b) にセンシングデータを n 次元ユークリッド空間上に表す。

各センサーの曖昧度が正規化され等しくなることから、n 次元情報は n 次元ユークリッド空間において、球となる。図 4 は 3 次元、4 次元、5 次元の情報を 3 次元に投影したイメージを示したものである。3

次元に投影するためには、3 次元より、高次元の直交軸の値を 0 にすることにより、得ることができる。

各センサーの量子化は、付録 1 に示す n 次元ユークリッド空間における最適マッピングになるように、各直交軸の値を決めればよいことになる。

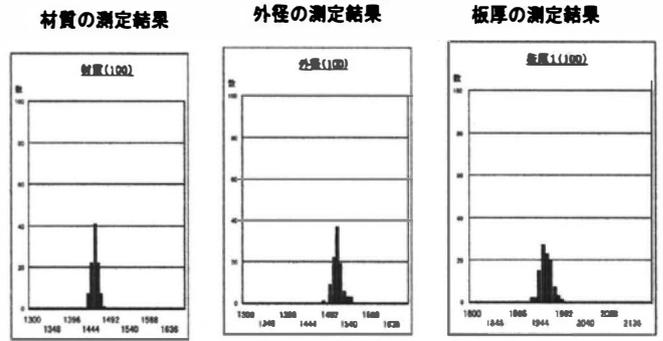
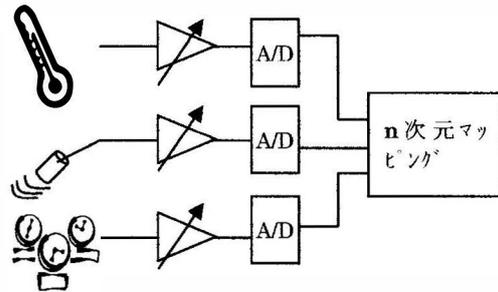
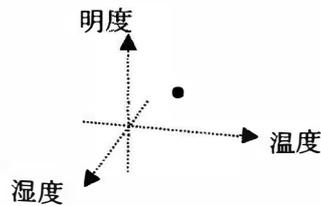


図 2 曖昧度をもつ検出情報の確率密度



(a) 利得調整し正規化 (標準偏差を統一)



(b) 温度、湿度、明度データを 3 次元表示

図 3 センシングデータの正規化と n 次元データの表現

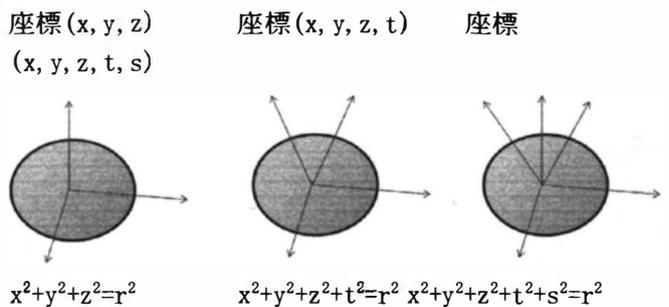


図 4 n 次元雑音球のイメージ

(3) センシングデータと伝送路雑音の関係

n次元化されたセンシングデータは伝送路を介して中継される。この時、各センサーの曖昧度により生じるn次元ユークリッド空間上における球は、伝送路において生じる雑音加わり、球の体積が大きくなる。図5は3次元ユークリッド空間における球が伝送路雑音により大きくなっていることを示す。

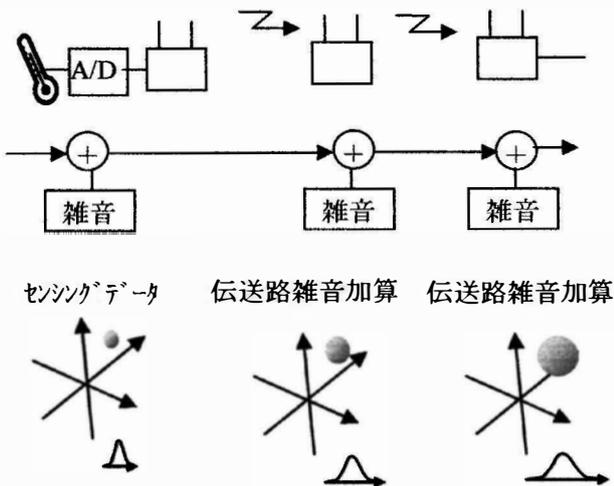


図5 n次元化されたセンシングデータの雑音球

(4) センシング情報と伝送信号の曖昧度の改善方法

①合成法による改善

加法的雑音伝送モデルを用いると次のように曖昧度を改善することが可能になる。

中継するノード数をn、合成するルート数をmとした場合、最終的に合成された信号のS/N γ は信号が合成されることから信号電力としては同相振幅合成であるのでm²になる。総雑音電力は電力合成であるので、m・nであることから、式(1)のように表すことができる。ただし、中継ノードの送受信性能が同じで、中継利得が1であると仮定すると、能力が同じであるとする。図6にノード数をn、合成するルート数mのセンシングと伝送路を示す。初段の雑音はセンシング回路の曖昧度を等価的な雑音としている。

$$\gamma = \frac{m^2}{m \cdot n} = \frac{m}{n}$$

(1)

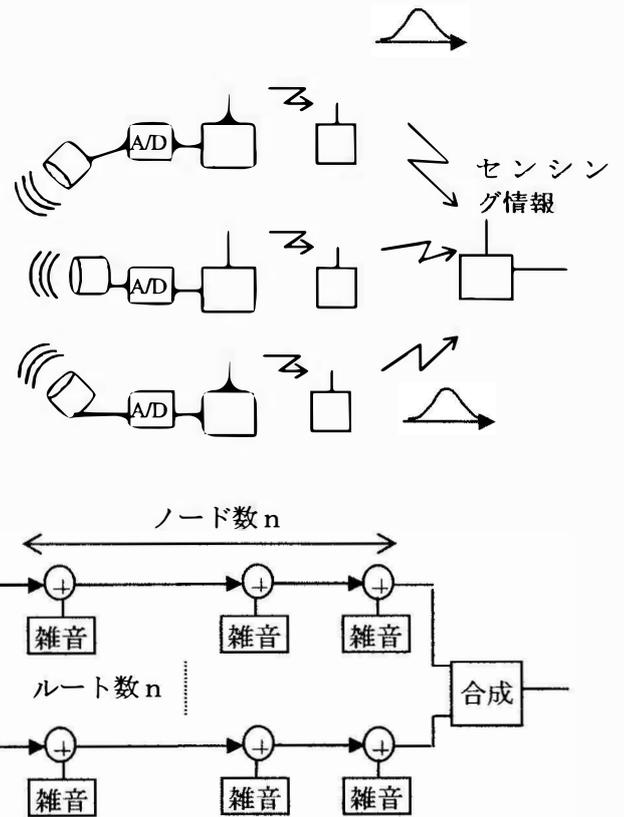


図6 合成法による曖昧度改善

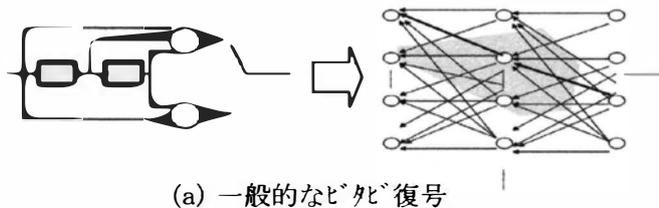
②ビタビアルゴリズムを用いた改善方法

センシング情報の時間的な冗長性、センシングデータ間相関を用いて最尤検出が可能になる。すなわち、センシングデータの変動が以下の冗長度を持つ場合、状態遷移を限ることにより、曖昧度を改善することができる。

- ・ サンプルング速度に対し、センシングデータの変動が緩やかな場合
- ・ 異種のセンシングデータ間に相関がある場合

図7に提案するビタビアルゴリズムを用いた改善方法を示す。従来の誤り訂正に用いられているビタビ復号回路を比較のために示す。従来のビタビ復号は送信側の符号化回路の状態遷移を用いて生き残りパス選択による品質改善を行っている。

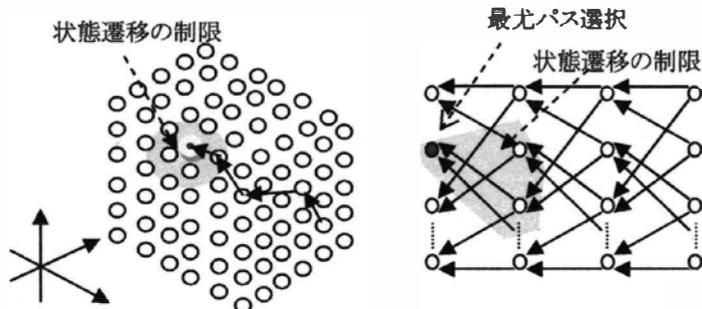
これに対し、提案方法では上記の制限を用いて最尤パス選択を行うことにより、曖昧度を改善する構成になっている。例えばセンシングデータの状態遷移の自由度が図のように限られた場合、最尤パスを常に選択することにより、測定誤差の改善を行うことが可能となる^{(5)~(9)}。



(a) 一般的なビット復号

間距離をハミング距離で同一化することが可能になる。情報点間の許容誤りが1ビット以内であれば、完全に統合することが可能である。

具体的な回路構成としては、A/D コンバータによりサンプルされたバイナリ符号のデータをグレイ符号化して、信号伝送し、受信側において、再びグレイ符号からバイナリ符号に変換する方法が考えられる。符号変換によりセンシングデータと信号伝送の融合したシステム構成を図10に示す。



(b) 提案する最尤n次元の状態遷移から最尤検出する方法

図7 ビタビアルゴリズムを用いた曖昧度改善方法

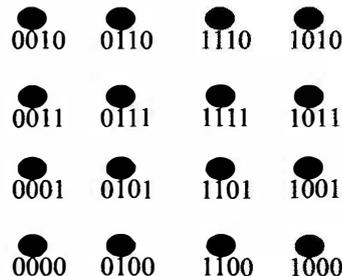


図9 グレイ符号化したマッピング (16QAM)

3. システムの設計

具体的にシステムを構築するためには、問題点として、n次元センシングデータと信号伝送では、それぞれの情報間距離の定義が異なっていることを解決する必要がある。

(1) 情報間距離

センシングにおけるn次元ユークリッド空間における情報点の情報間距離はユークリッド距離である。これに対し、ビットストリームである信号伝送はビットパターンで定義されるハミング距離である。

距離の違いを図8に示す。

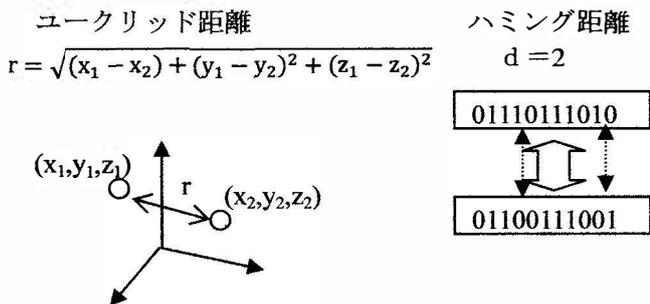


図8 ユークリッド距離とハミング距離の違い

(2) 符号変換を用いた統合

多値変調である16QAM、64QAMなどでは、信号空間ダイアグラム上で隣接する信号点間のハミング距離が最小となるようにグレイ符号を使用している。図9に16QAMの例を示す。ハミング距離が1になっていることが分かる。

同様の考え方で、n次元ユークリッド空間における情報点の符号化をグレイ符号化し、このデータをデジタル回線で伝送することにより、両者の情報

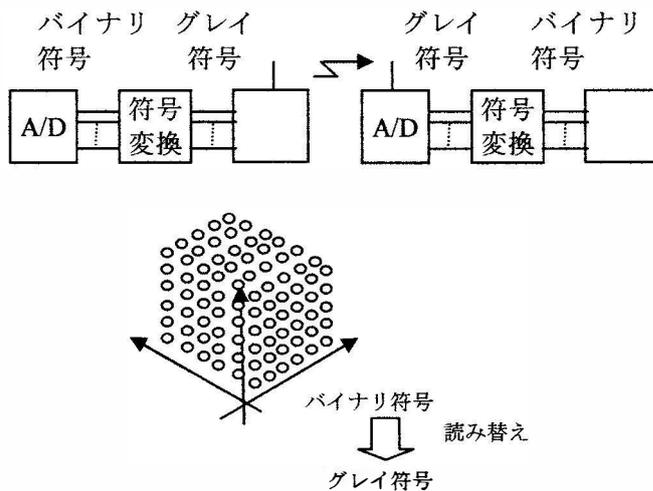


図10 符号変換によるセンシングデータと信号伝送の融合

4. 計算機シミュレーションによる実証⁽⁴⁾

提案する伝送法の実現性を確かめるため、計算機シミュレーションによる実証を行った。

シミュレーションの条件を以下に示す。

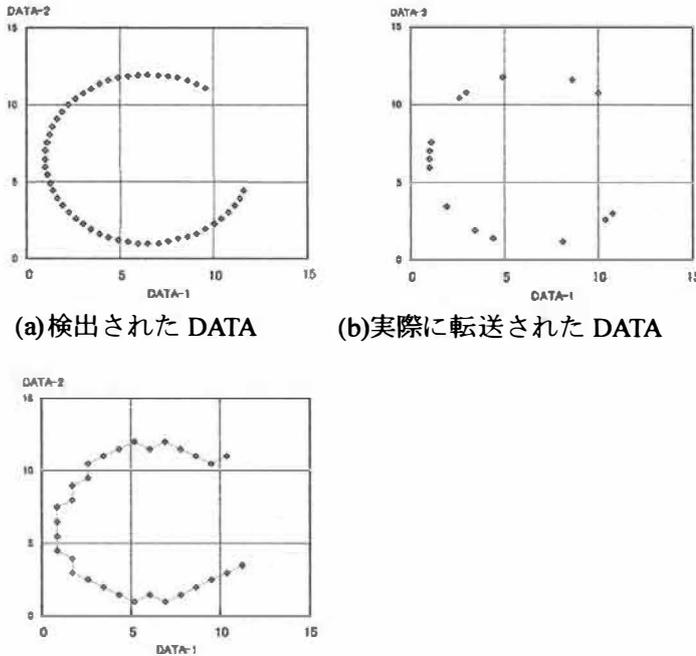
条件：

- ・ 2つのセンサーで2次元情報を検出
- ・ 量子化数16 (各センサー)
- ・ 検出タイミングにおける、最大変動値は1量子化レベル
- ・ 2次元において最適な正六角形構成による量子化

補間特性

図11に結果を示す。(a)は検出された2種類のデ

ータを2次元座標で示し、横軸は DATA1、縦軸は DATA2 である。(b)は伝送路により転送されたデータ、(c)は転送先において、ビタビアルゴリズムにより、補間されたデータである。本図より分かるように、転送できなかったデータが補償されていることが確認できる。



(a)検出された DATA (b)実際に転送された DATA
(c)最尤検出により補間

図 11 実験結果

5. あとがき

センシング情報を検出するセンシングと情報伝送を一体化して考える新たな情報伝送方法を考案した。

具体的にシステムを構築するためには、問題点として、 n 次元センシングデータと信号伝送では、ユークリッド距離とハミング距離それぞれの情報間距離の定義が異なっている。このことを解決するため、グレイ符号化を用いる必要のあることを見つけた。

また、センシング情報の冗長度、相関を用いてビタビアルゴリズムを用いた曖昧度改善方法を提案し、計算機シミュレーションにより、実証した。

今後は、実回路による実証を行う予定である。

文 献

[1] 郡” センシング情報と伝送信号を同一視した新たな n 次元情報伝送法の検討” 信学技報、vol. 109, no. 380, MoMuC2009-69, pp. 87-92, 2010年1月
 [2] 郡” n 次元化によるシームレスなセンサーネットワークの検討” 信学技報、vol. 109, no. 441,

MoMuC2009-101, pp. 165-170, 2010年3月
 [3] 郡 “ n 次元シームレスセンサーネットワークの研究ーセンシングと信号伝送の融合ー”, 信学技報、RCS2011-143, 2011
 [4] 郡 “ n 次元化によるシームレスなセンサーネットワーク”, 静岡理工科大学紀要第19巻 (2011/06)
 [5] 郡” ビタビ復号アルゴリズムを用いた位置検出の検討” 信学技報、MoMuC2007-68, 2008
 [6] 郡” ビタビアルゴリズムを用いた3次元位置検出の検討” 信学技報、MoMuC2008-82, 2009
 [7] T.Kohri, “Location Estimation Method Based on Viterbi Algorithm”, IEEE Vehicular Technology Conference, 7 D-4, 2009 Fall
 [8] 郡、服部、 “ n 次元ユークリッド空間を用いた変調方式”, 信学技法、RCS104(20), 91-96, 2004
 [9] T.Kohri, T.Hattori, “A design of modulation with the same distance constellation in n -dimensional euclidean space”, pp. 3885-3889, IEEE, VTC, 2004 Fall
 [10] http://www.geocities.jp/ikuro_kotaro/koramu/mugenjigen3.htm
 [11] <http://mathworld.wolfram.com/HyperspherePacking.html>
 [12] Conway, J. H. and Sloane, N. J. A. "Sphere Packings, Lattices, and Groups", 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1993.
 [13] S. スタイン、J.J. ジョーンズ共著、関英男監訳、"現代の通信回線理論", 森北出版, 1976
 [14] John G. Proakis, "Digital Communications", McGraw Hill Higher Education; 4New Ed edition, 2000
 [15] ジョージ・G・スピーロ著、青木薫訳『ケプラー予想』新潮社、2005年
 [16] 三瓶、 “コグニティブ無線の動向と展開”、通信ソサイエティマガジン No5, 2008
 [17] 矢野、有吉、 “ヘテロジニアスネットワークにおけるハンドオーバー技術”、電子情報通信学会総合大会、SS-59, 2009
 [18] 竹内、 “次世代ワイヤレスシステムを用いたヘテロジニアス無線ネットワーク”、電子情報通信学会総合大会、SS-58, 2009
 [19] 中川、太田、吉川、倉掛、 “無線マルチホップ・アクセスネットワークにおける経路制御及びハンドオーバー制御方式”、電子情報通信学会論文誌 B Vol. J85-B No.12, 2002年12月
 [20] http://www.yobology.info/text/difference_Gray/difference_Gray.htm

付録 1

ユークリッド空間における最適マッピング

複数の情報を n 次元として扱うためには、n 次元空間における最適な量子化として、ユークリッド空間における最適マッピング法を考える必要がある⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

(1) 2次元ユークリッド空間の場合

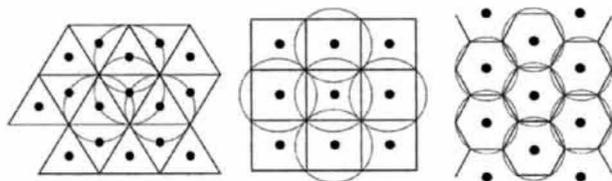
2次元ユークリッド空間は2つの直交する軸で構成される平面である。

センサーの曖昧度により、正規分布する等価的な雑音加わる。情報点は雑音による曖昧度を加えると、情報点を重心とした円で表すことができる。この円を雑音球と称する。この円を送信最大レベルの径を持つ円の中にできるだけ多くつめ、隙間を少なくする必要がある。

すなわち、最小の電力で、最大の情報伝送を行うためには、中心から一定距離の円内に、最大個数の信号点を入れる必要がある。また、情報点間は誤りを最小にするため、一定以上の距離を保つ必要がある。

この最適解として、正六角格子配列が最も隙間のないことが証明されている。

この場合の円の充填率は約 0.907 になる。これに対し、QAM 等で用いられている形の正方格子配列における充填率は 0.7854 である図 12 にそれぞれの情報点配列を示す。



(a)正三角形構成 (b)正四角形構成 (c)正六角形構成

図 12 2次元における最適分割法
(重なりの少ない正六角構成が最適)

(2) n次元ユークリッド空間の場合

4次元以上は、3次元までの世界と異なり、直感的に考えることができないが、多次元における超球の充填問題として、8次元まで、n次元球に、最も単位超球を詰めることができる最密充填構造が発見され、証明されている。表 1 に、次元数、充填率、発見者をまとめる^{(7)~(12)}。

表 1 n次元ユークリッド空間における最密充填構造

次元数	格子配列	充填率	発見者
2	A2	0.906	Kepler 1611, 1619; Lagrange 1773
3	A3	0.740	Kepler 1611, 1619; Gauss 1840
4	D4	0.619	Korkin and Zolotarev 1877
5	D5	0.465	Korkin and Zolotarev 1877
6	E6	0.373	Blichfeldt 1934, Barnes 1957, Vetčinkin 1980
7	E7	0.295	Blichfeldt 1934, Barnes 1957, Vetčinkin 1980
8	E8	0.254	Blichfeldt 1934, Barnes 1957, Vetčinkin 1980

充填率は球内にある単位超球の体積を球の体積で割ったものである。

付録 2

n次元グレイ符号

3次元グレイ符号の例を図に示す。n次元に対しても同様に符号化することが可能である⁽²⁰⁾。

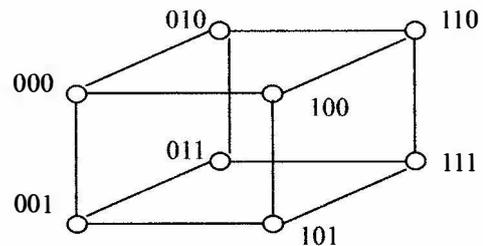


図 13 3次元グレイ符号の例