

博士論文

時空間符号化を用いたフルカラーLED
表示と応用に関する研究

宇都宮大学大学院工学研究科システム創成工学専攻

時本豊太郎

概要

近年のディスプレイデバイスの進展はめざましく、家庭用テレビやコンピューターの情報インターフェースに限らず、スマートフォンやデジタルサイネージなど街の至る所で使われるようになってきている。これらは従来型の看板や紙の媒体とは異なり、クラウドネットワークに繋がっていることから、瞬時にコンテンツを入れ替えることができる。屋外用ディスプレイの技術革新の転換点は、1990年代初頭の窒化ガリウムによる青色・緑色の発光ダイオード (LED) の商品化である。光の3原色の超高輝度 LED 全てが出揃ったことにより、超高輝度で低消費電力かつ長寿命の大画面フルカラーディスプレイの開発が可能となった。さらに、LED は高速応答性を有していることから、従来にはない新しい映像システムを可能にする。本論文は、時空間符号化と残像効果を含むヒトの視覚システムを利用した新しい LED 表示システムについての理論を提示するとともに、その有効性を各種の応用システムの開発で実証する。LED の高速変調と残像の利用により、地下鉄のトンネルの壁面を映像空間に変えるディスプレイが可能になる。また、スーパースローカメラで撮影されても走査抜けが生じない超高速 LED 表示を実現する。世界最速となる毎秒 4,320 フレームの超高速性を実現するために、非線形クロックによるガンマ逆補正機能を持たせた定電流のパルス幅変調 (PWM) による LED ドライバー集積回路 (IC) を開発した。またこのドライバー IC を用いて、毎秒 960 フレームまで任意のフレーム数でフルカラー映像を表示できる可変フレームレート高速 LED 表示実験システムを開発した。この実験システムにより時空間変調された表示映像に対するヒトの視覚認識の研究を進めることができるようになり、Cyber Vision と呼ばれる時空間変調表示による超解像効果を実験で確認した。

第1章では、まずヒトの視覚システムを利用したディスプレイ技術の背景を述べる。その上で、従来のテレビ技術を発展させた新たな表示システムの構築を目指す本論文の目的と構成について記す。

第2章では、デジタル映像理論の基礎となる時空間符号化と2次元の空間符号化について記す。さらに、本論文の特徴となるホールド補間族について述べる。

第3章では、時空間符号化された画素情報からなるデータプレーンと表示窓プレーンによる表示システムを考察する。一方のプレーンを移動することにより、観察者に映像を表示するアイデアを述べる。この視点で第1章で紹介した表示システムを分類する。

第4章では、表示窓プレーンを相対移動するという概念で地下鉄の壁面に設置した表示システムにより移動体上の観察者が移動体の窓を通して動画像を視認するシステム

(相対移動表示システム Time Slit) について述べる。さらに、提案技術の事業化についても記す。

第5章では、ホールド補間を用いて超高速表示を実現した表示システムを示す。高速化と薄型化を可能にする、非線形クロックを用いた定電流 PWM 駆動 LED ドライバーICの開発について示す。さらに、このドライバーICを用いた可変フレームレート高速表示実験システムの開発について記す。

第6章では、時空間変調による高速表示 (Cyber Vision 表示) による超解像効果を実験により実証するとともに理論的な枠組みを提示する。可変フレームレート高速表示システムを用いた実験により、超解像効果はヒトの視覚システムによることを明らかにする。この結果及び予備実験での結果を踏まえてヒトの視覚システムにおける認知メカニズムに対する仮説を提示し、簡易擬似固視微動関数による simulation 結果を示す。

第7章では、本論文の結論を述べるとともに、高速 LED 表示システムによって緒に付いたヒトの視覚システムの認知メカニズム研究に関して、今後の展望を述べる。

以上に記した通り、本論文は、時空間変調された映像に対する理論的な枠組みを提示するとともに、非線形クロックによる LED ドライバーICを用いた超高速 LED 表示ハードウェアの開発と、高速性を活用した従来にはない各種の高速表示システムの実現を主な内容とする。加えて、高速表示システムを利用した視覚認識に関する新しいモデルを提案する。人類が手にしていなかったような超高速 LED ディスプレイの開発をきっかけとして、ヒトの目には何故そのように見えるのかという独自の課題を見出した。実験結果を裏付けるモデルとして、ヒトの視覚システムが時空間符号化された映像を観察時に、一旦ぼかし処理してデータ量を減らした上で、先鋭化処理により抽象的図形として認知する高速認知システムを提案する。また主観的超解像に関して、簡易擬似固視微動関数による simulation を行なった。視覚認知の解明は本論文の主目的ではないため、本論文においてはモデルの提示にとどめるが、高速映像に対する視覚認識という研究課題があることを実験と理論により提示する。本論文の特筆事項の1つは、開発した LED 高速表示システムが街頭の大画面スクリーンやトンネル内映像などの実社会で事業化されていることである。本論文は、単なるモノづくりではなく、社会的価値を創出する技術を生む新しい科学技術研究のアプローチを示すものである。

目次

第 1 章 序論

- 1.1 背景
- 1.2 本論文の位置付け
- 1.3 本論文の目的と構成
- 1.4 本論文の原理に基づいて開発された商品
- 1.5 まとめ

第 2 章 時空間サンプリングとデジタル表示

- 2.1 はじめに
- 2.2 時空間符号化
- 2.3 時空間符号化とホールド補間族
- 2.4 まとめ

第 3 章 残像効果を用いた表示システム

- 3.1 はじめに
- 3.2 デジタル表示列を物理的に移動する
- 3.3 固定された表示素子列に周辺画素データを Dynamic 表示する
- 3.4 残像効果を用いた表示の色混ざり

第 4 章 TS : 相対移動表示システムの実用化

- 4.1 はじめに
- 4.2 相対移動表示システム(Time Slit)の制御方式
- 4.3 Time Slit 事業展開
- 4.4 おわりに

第 5 章 超高速表示システム

- 5.1 はじめに
- 5.2 時空間符号化とホールド補間族
- 5.3 超高速デジタル表示システム
- 5.4 スタティック可変 frame rate 高速表示実験システム
- 5.5 おわりに

第6章 Cyber Vision 表示方式による超解像と視覚システム

- 6.1 はじめに
- 6.2 超解像認知メカニズム仮説
- 6.3 Cyber Vision 表示方式
- 6.4 Cyber Vision 表示方式による超解像確認実験
- 6.5 擬似固視微動関数による再構成
- 6.6 今後の課題
- 6.7 おわりに

第7章 結論と展望

- 7.1 結論
- 7.2 将来展望

第 1 章

序論

1.0 Abstract

ヒトの視覚システムを用いた表示システムの開発の基礎として時空間符号化がある。この映像データに対して時空間変調することにより、各種のディスプレイ方式が考えられる。

まず第 1 章ではヒトの視覚システムを利用した各種の表示システムの商品紹介を行う。1.1 節で背景, 1.2 節で本論文の位置付け, 1.3 節で目的と構成を記す。1.4 節で本論文の原理に基づいて開発されたディスプレイ商品の紹介をする。

第 2 章では、ヒトの視覚システムと同様、画像圧縮やデジタル表示システムの基礎としての時空間符号化があるが、本論文において必要な基礎知識についてまとめておく。

第 3 章で、各種の表示方式を生み出した時空間変調方式のアイデアを示す。

第 4 章では、第 3 章で紹介した相対移動表示システム **Time Slit** を用いて、移動空間のメディア事業を日本国内そして世界展開を行なっている状況を記す。

第 5 章で世界最速となる毎秒 4,320 フレームの超高速 **LED** 表示システムの技術を記すとともに、この技術を用いて可変フレームレート高速 **LED** 実験システムを開発したのでこれを紹介する。

第 6 章では、上記可変フレームレート高速 **LED** 実験システムを用いて、時空間変調を用いた一つの表示方式である **Cyber Vision** 表示で超解像効果が得られることを実験で確認した。またこの研究を通して得た課題に基づき、高速認知システムを提案する。

1.1 背景

高度情報化社会において、情報インターフェースとしてのディスプレイが果たす役割は大きい。近年のディスプレイデバイスの進展はめざましく、家庭用テレビやコンピューターの情報インターフェースに限らず、スマートフォンやデジタルサイネージなど街の至る所で使われるようになってきている[1]。これらは従来型の看板や紙の媒体と異なり、クラウドネットワークに繋がっていることから、瞬時にコンテンツを入れ替えることができる。ヒトの視覚システムを利用した表示方式として誰しも思い浮かぶものとして映画とテレビがある。1891 年映画の基礎となるキネトスコープ特許が出願され[2]、1926 年ブラウン管 (CRT) 式のテレビが開発に成功した[3]。特に電子式のテレビ方式は一般大衆の娯楽からコ

ンピューターの情報インターフェースとして医療現場も含め様々なシーンで多用され、高解像度化、高階調化、3次元化などがされながら進化を遂げている。また表示デバイスとしても当初のブラウン管（CRT）方式だけでなく、液晶方式、LED（Light Emitting Diode）方式、EL(Elector Luminescence)方式といった多様な表示素子の実用化に伴い利用用途も室内だけでなく、屋外用ディスプレイや曲げられるディスプレイという形で拡大してきている。

特に屋外用ディスプレイとしては、つくば科学博覧会(1985年)[4,5]で発表された屋外大型ビジョンで見られるように、ソニー社ジャンボトロン（蛍光表示管）[6]、パナソニック社のアストロビジョン（放電管）[7]、三菱電気のオーロラビジョン(CRT)[8]というように、独自のデバイスを開発して各社が技術を競っていた。この屋外用ディスプレイの技術革新の転換点は、1990年代初頭の窒化ガリウム[9]による青色・緑色の超高輝度発光ダイオード(LED)の商品化である。それまで4元素系 AlInGaP[10]の赤色超高輝度LEDは商品化されていたが、青色と緑色は低輝度のものであった。このためLEDは単色もしくは、黄緑(YG)色と組合せてマルチカラー化して屋外看板等に用いられるレベルのものであり、フルカラー映像を表示することはなかった。この青色、緑色の超高輝度LEDが商品化されたことにより、赤色超高輝度LEDと合わせて光の3原色が揃うこととなった。この超高輝度LEDとそれまで屋外大型ビジョン各社が競って開発をしていた独自のデバイスとは性能が大きく異なっており、超高輝度、超寿命、高速応答性に優れていた。このため低消費電力でもあった。また液晶ディスプレイやELディスプレイと異なり、容易に屋外仕様のモジュールが開発できることも屋外大型ビジョン向きであった。更に大手電機メーカーが特許やノウハウを保有する独自のデバイスではなく、汎用デバイスとして市販され各社が購入して使用することが可能であるため、LEDドライバーIC等の周辺デバイスも汎用化できるため、ベンチャー企業がLEDを使用してシステムを開発することを容易にした。

この超高輝度LEDを使用したLED表示機の特徴として、

1. 超高輝度フルカラー表示
2. 高速応答性
3. 屋外仕様可能

が挙げられる。

またこれらのデバイスの特徴を生かすモジュール設計として、拡張性の高いモジュール設計、定電流駆動PWM方式のIC開発、LEDのPWM駆動に適したスイッチング電源開発など周辺技術の開発が多数行われ、屋外大型ビジョン、室内大型ビジョン、Digital Signage用途と様々なシーンでのディスプレイとして使用されていった。またこの高速応答性に優れた特徴から、従来のテレビ型の表示フレーム周波数(30frame/sec, 60field/sec)に限定され

ない使用法が可能となった。我々はこの LED の高速応答性を用いて、時空間符号化された映像データに対してヒトの視覚システムを利用した表示方法を開発することにより、数々の LED 表示システムを開発した。その中には何故そのように見えるのか理論的に分からないものもあった。

1.2 本論文の位置づけ

映像を時空間符号化でデジタルデータ化し、それをどのような発光タイミングで表示するか、それらの2次の周波数特性はどのようにとらえられるか？ そのような切り口及びその理論を実現する高速応答性のある LED デバイスを用いて開発された様々な表示システムの表示方法を解説する。これをまとめると時空間符号化と時空間変調表示となるが、時空間変調に関してデータプレーンと表示窓プレーンというアイデアで捉え第3章で説明する。またこの理論の下で世界最速の表示システムを開発したので、第5章にその技術を記す。更に、そのなかで超解像表示を実現した **Cyber Vision** 表示方式に関して、ヒトの視覚システムにおける認知メカニズムを仮説に基づいて理論化することを試みる。

第4章では、移動体上の観察者が表示機に対して相対移動している表示システム系における特殊な時空間変調を用いた表示システム **Time Slit** を用いた移動空間メディア事業について記す。この移動空間メディア事業と **Digital Signage** 事業が示すように、本論文は新たな技術がモノづくりだけでなく、社会的価値を創出する科学技術研究のアプローチを示すものである。

1.3 本論文の目的と構成

本論文では時空間符号化、特に2次の時空間連続体を一定の時間で輪切りにした表示フレームに対して、画素情報からなるデータプレーンと表示画素からなる表示窓プレーンというモデルで時空間表示を捉えた。表示窓を通してデータプレーン上の画素情報を観察するのであるが、データプレーンと表示窓プレーンのいずれかを移動させることにより複数の表示システムを開発した。移動空間内の表示システムを含む数々の表示システム、各種センサーを用いた通行人分析システム及びそれを使用した情報サービスが **Digital Signage** という市場を創出してきた。

本論文では時空間符号化、データプレーンと表示窓プレーンのモデル、ホールド補間族といったデジタル画像の理論の概説を行った上で、そこから生まれた表示システムをデータプレーンと表示窓プレーンで動きで分類して紹介する。更にホールド補間を用いた超高速表示システムをそのベースとなる技術とともに示す。またこの技術を用

いて任意のフレームレート（1～960fps）で表示することのできる高速実験システムを開発した。この実験システムを用いて、Cyber Vision 表示における超解像効果を実験検証した。この実験結果に基づき、ヒトの視覚システムの認知メカニズムに関する仮説を立てた。

本論文の構成を図 1.1, 図 1.2 に示す。

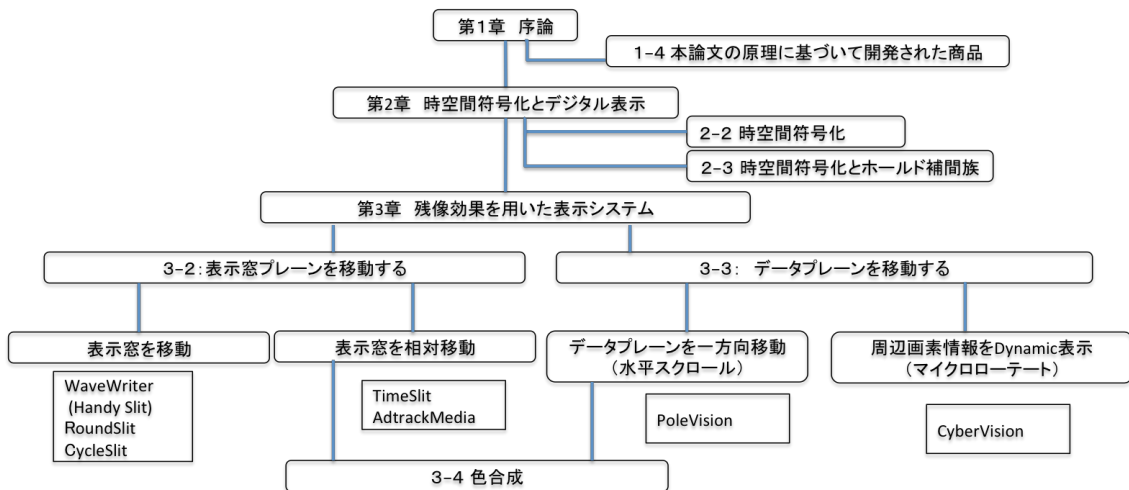


図 1.1 本本分の構成（前半）

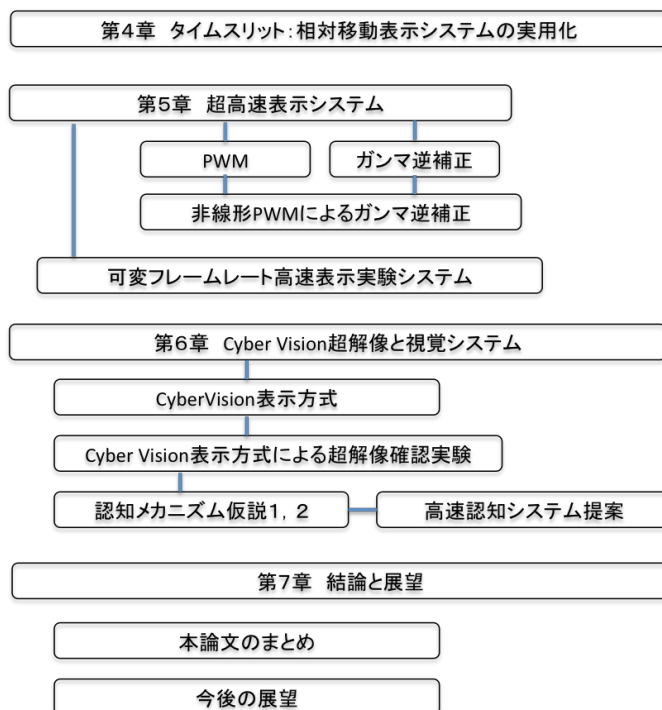


図 1.2 本論文の構成（後半）

第1章では、まずヒトの視覚システムを利用したディスプレイ技術の背景を述べた。その上で、従来のTV技術を発展させた新たな表示システムの紹介を行う。

第2章では、デジタル映像理論の基礎となる時空間符号化と2次元の空間符号化について記す。更に、第6章で用いるホールド補間族について述べる。

第3章では、画素情報からなるデータプレーンと表示窓プレーンを考え、そのどちらかのプレーンを移動して観察者に映像を表示するという視点で第1章で紹介した表示システムを分類する。

第4章では、表示窓プレーンを相対移動するという概念で地下鉄の壁面に設置した表示システムにより移動体上の観察者が移動体の窓を通して動画像を視認するシステム(Time Slit)を示す。

第5章では、ホールド補間を用いて超高速表示を実現した表示システムを示す。高速化と薄型化のキーデバイスとなる非線形クロックを用いた定電流PWM駆動LEDドライバICを開発したのでその技術を示す。この副産物として開発した可変フレームレート高速表示実験システムの仕様を示す。

第6章では、Cyber Vision表示で超解像効果が得られることを上記可変フレームレート高速表示実験システムで確認実験を行った。この確認実験により超解像効果はヒトの視覚システムによることが明らかになったことを示す。この結果及び予備実験での結果を踏まえ、ヒトの視覚システムにおける認知メカニズムに対する仮説を提示する。第7章では、以上の結果をまとめるとともに、高速表示システムによって緒についたヒトの視覚システムの認知メカニズムに関して、今後の展望について記述する。

1.4 本論文の原理に基づいて開発された商品

ヒトの視覚システム、特に残像効果と2次元時空間符号化の理論を用いて開発された商品の一部を紹介する。製品が実際に開発された順ではなく理論的に説明しやすい順序で紹介する。実際にはTimeSlitが一番最初に開発された。

1.4.1 表示素子列を移動させる

1) 人が表示素子列を動かす=Wave Writer

元々は大阪府警から、夜間の交通規制等で用いている通常のフラッシングバトンの場合、行けと言っているのか止まれと言っているのかが分かりにくく、明確に運転者に走行指示を伝える新たなフラッシングボタンができないか、との要請で作成したもの。警察の装備品コンクールに出展され全国の警察や道路公団の交通整理に用いられた。ただ実際に使ってみると、振り続けるのは結構しんどいし、高速道路で人が振るのは危

険であるので、Wave Writer を振る機械も合わせて作って欲しいという要請が、神奈川県警や道路公団からあった。ただ、数千円の表示棒を振る機械が 10 万円以上というのは本末転倒であるので、Pole Vision を開発するきっかけとなった。

WAVE WRITER

Traffic control is hazardous work, especially at night.
Inattentive or confused motorists are a grave risk in emergency situations. We have developed a technology to reduce this danger, the **WAVE WRITER** afterimage baton.

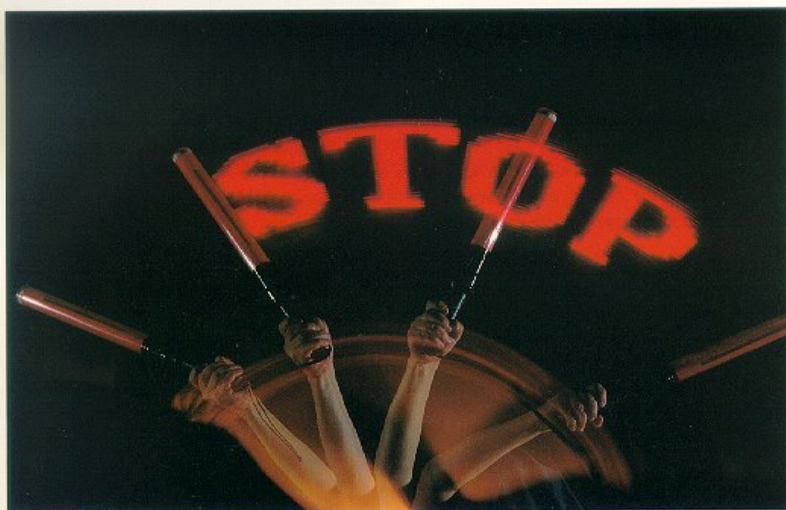


図 1.3 人が表示素子列を繰り返し振る WaveWriter

2) 人が表示素子列を振る＝J-リーグの応援グッズ J-League Supporters Light

業務用として振り続けるのは大変だとしても、応援グッズという趣味のものであれば、手軽に持ち込んで応援ができるということで、丁度日本のプロサッカーリーグである J-League が発足した頃、J-League の公式グッズの認定を受けて発売したのが、J-League Supporters Light である。



図 1.4 人が表示素子列を振る： J-League Supporters Light

3) モーターで表示素子列を回転させる； Round Slit

国際展示会、イベントやショールームなどで、簡易的な立体表示機として人目を惹く表示システム用途でレンタルや常設用として利用された。



図 1.5 回転表示システム Round Slit (小型タイプ)

4) 自転車のスポークに表示素子列をつけて回転させる； Cycle Slit

自転車の夜間での視認性をあげる表示システムとして、自転車安全協会の要請で試作したものである。

1.4.2 相対的に表示システムを移動させる

AVIX 社としては、相対移動表示システム Time Slit が一番最初に開発した製品であり、ベンチャー企業創業の原点となった発明である。発想の原点としては、地下鉄の窓からは景色は見えず、見えるのはトンネルのコンクリートの壁である。ここを映像空間にして通勤通学を快適にできないか、と考えた。それができれば移動空間のメディア化も事業として成立する。ただトンネルの壁面にポスターを貼っても高速で移動する電車の乗客にはポスターの内容は視認できない。この目で追うことができないということを利用して、目の残像効果で表示空間を作ろうと考えて開発したのが、Time Slit である。1989 年当時は高輝度青色 LED が開発されていなかったため、当初は RG 3 色表示でスタートした (図 1.6)。その後日亜化学工業が窒化ガリウム系の超高輝度青色 LED を製品化し、翌年窒化ガリウム系超高輝度純緑色 LED を製品化したため、フルカラー LED 表示システムの道が開けることになる (図 1.7, 図 1.8)。ただその段階になると、地下鉄を含む通勤電車において液晶ディスプレイ設置車両の導入も始まり、TimeSlit の存在意義も薄れて来た。また AVIX 社としては Digital Signage 事業、鉄道向け乗車口、発車標事業が軌道に乗り忙しくなってきたこともあり、フルカラー Time Slit の事業展開に関しては積極的には行わなかった。



図 1.6 相対的に表示素子列を移動する； TimeSlit RG モデル



図 1.7 仙台地下鉄での実証実験 TimeSlit フルカラーモデル

2012年にCanadaのAdTrackMedia社（当時の社名はUndergroundMedia社）のCo-FounderであるKen Bicknell CEOからFacebookを介してコンタクトがあり、2013年1月の技術&経営 meetingに参加。AdTrackMedia社の最高技術顧問として、TimeSlitを用いたメディア事業の世界展開に協力することとなった。



図 1.8 相対的に表示素子列を移動する； フルカラーモデル AdTrackMedia

現在 AdTrackMedia 社は、米国、ブラジル、韓国、スペインを含む各国で移動空間メ

ディア・サービスを展開している。

1.4.3 データ移動型表示システム

--- 表示素子列に画像データをスキャンし仮想的にスクロール表示

PoleVision は表示素子列を複数平行に固定し、その表示素子列に画像データを列ごとに順次表示制御することにより、人の視覚システムが仮想的にスクロール表示と感ずる表示システムである。

元々は、WaveWriter を振る機械を作って欲しいという依頼を受けて、折りたたみができるパトカーのトランクにも詰むことができ低消費電力のためバッテリー駆動することができる表示システムを開発した。これにより警察の検問等で 100m 先から車に対して注意を喚起することができるため、警察だけでなく道路公団等で利用された。また低価格で比較的大きく注意喚起のできる LED 表示機ということで踏切の注意喚起用補助表示機として JR 東日本の事故の多い踏切に設置された。

公共的な注意喚起表示機としてだけでなく、一般商店の低価格で目を惹く LED 表示機として、年間 1 万台以上が全国に出荷された。



図 1.9 データ移動型表示システム； Pole Vision

一般商店向けは、マルチカラー化され、更にはインターネットに接続されてスマートフォンでコントロールされるようになっていく。

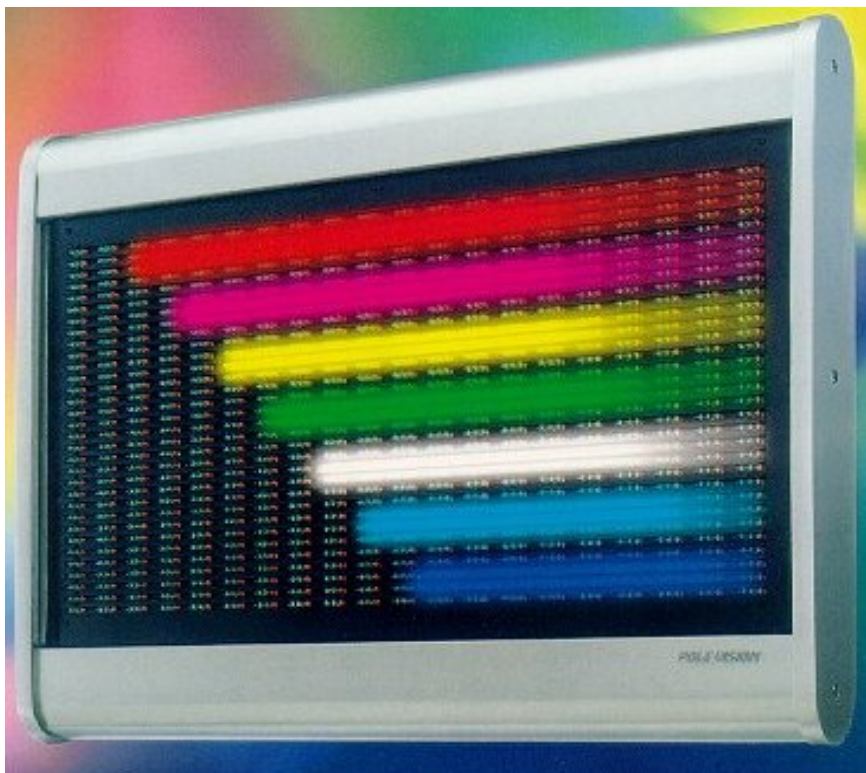


図 1.10 データ移動型表示システム； PoleVision

PoleVisionの大型のものは、意匠がコンテンツ配信により自由に変えられる新型のフルカラーネオンサインとポジションニングされ、パチンコ店を始めとする各地の大型商業施設に導入された。



図 1.11 データ移動型表示システム； Pole Vision 大型



図 1.12 ネオンサインの置き換えとしての Pole Vision



設置前の屋上ネオン看板

図 1.13 置き換え前の伝統的なネオンサイン



図 1.14 PoleVision はコンテンツによって簡単に意匠変更のできる新型 LED ネオンサイン

1.4.4 データ移動型表示システム

- 低密度なドット構成の LED パネルに周辺画素情報をダイナミック表示することによる超解像度表示



図 1.15 CyberVision



図 1.16 Qfront 外観：表示を出さない時は、ただのガラスのビルで、内部が見える構造となっている。

Qfront で使用している CyberVision 表示ユニットはブラインド構造を採っているため、建物の内部からは屋外の景色を楽しむことができる。超解像技術を用いてブラインド構造の粗い表示ドットにも関わらず解像度がアップして表示されたこともあり、渋谷 Qfront は日本のランドマークとして、世界中に発信されることになった。このため世界中の映画やテレビ番組、ニュースで日本というとき渋谷 Qfront が表示されることになる。



図 1.17 Qfront : CyberVision 内側

Qfront における CyberVision 開発する際に使用した技術と LED ドライバーIC などの部品を用いて、薄型軽量で簡単に設置できる DigitalSignage 向けの CyberVision を開発し、Toyota 自動車の自動車ディーラー向け電子看板として全国展開した。

ムダなく、効率的に——。よりインパクトある店頭プロモーションを可能にするITボード。

画期的なコストパフォーマンスを表現!
コスト面で大きな比重の占めるLED。その数を目的の稼働効率を確保することで、従来の約1/10。このことで画期的なローコストを実現するとともに、高い映像品質を確保しました。

管理はGAZOOセンターにおまかせ!
放映する情報は衛星ネットワークで配信。複数のITボードへ同時に映像を送信することも可能。タイムリーにコンテンツを配信できます。放映スケジュールも、GAZOOセンターが管理するため、販売店は放映設備を管理する必要はありません。

コンテンツも自由自在!
GAZOOセンターが情報売店のご要望に合わせてコンテンツを作成。最新の手軽な操作性に、インパクトあるプロモーションが実現できます。

オリジナルの広告展開が可能!
屋外にも店内にも設置可能。従来の看板や看板に比べ、よりインパクトある訴求が行えるだけでなく、曜日・時間帯・地域特性に合わせた広告展開が可能となります。

オリジナルの広告展開が可能!

EXAMPLE 施工例
より高質な設置で、告知効果UP。屋上のサインポールから、店舗の外壁、看板など、店舗に合わせた展開が可能です。

CONTENTS コンテンツ

展開使用例

- イベント告知
- 販促キャンペーン告知
- 新車登場告知
- 新車のCM放映
- 日替わりでの情報告知
- 動画&流れ文字でインパクトある告知も可能

NETWORK ネットワーク

IT board 配信ネットワーク

管理は万全! 安心のネットワーク。
GAZOOセンターから人工衛星を通して必要な情報を配信するITボード。コンテンツの作成から配信まで、情報のすべてはGAZOOセンターが管理。メンテナンスもおまかせなので安心です。

図 1.18 自動車ディーラー向け電子看板 IT ボード



図 1.19 DigitalSignage 版 CyberVision 設置事例：千葉 LEXUS

更に、超解像技術を用いて高輝度大型室内用表示として CyberVision を活用し、商業施設等に展開した。

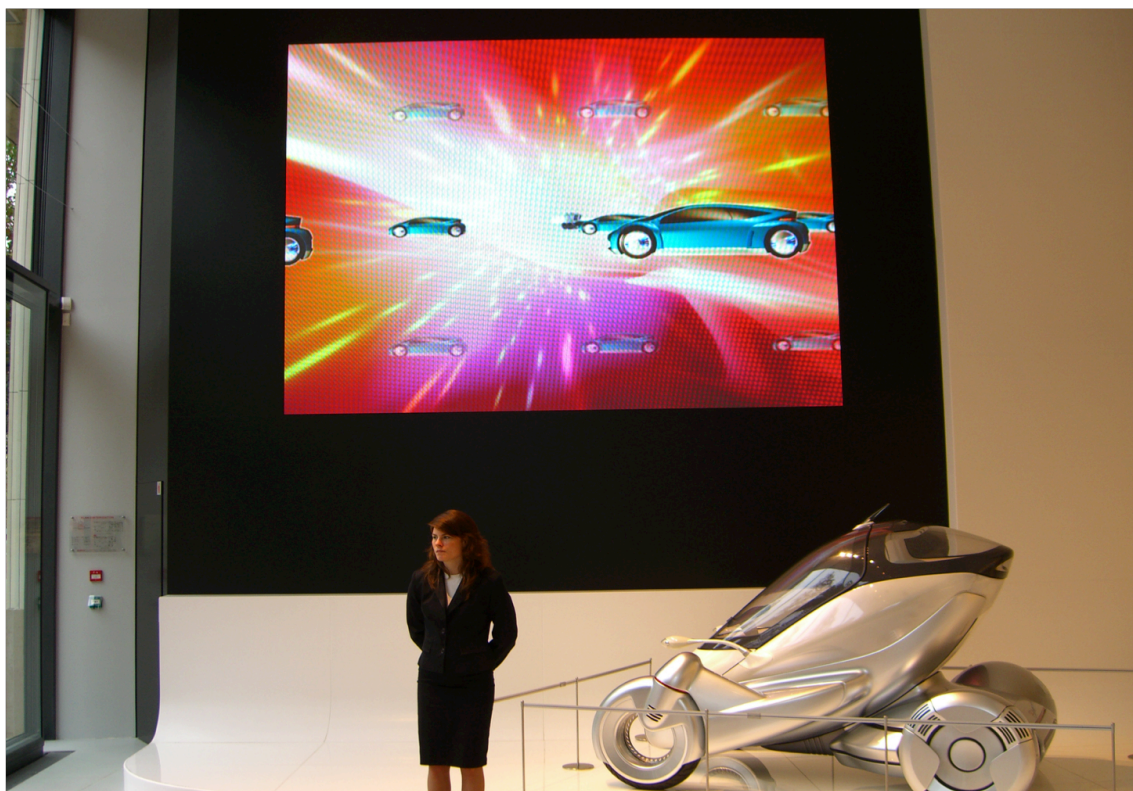


図 1.20 室内用 CyberVision in Paris



図 1.21 室内用 CyberVision in Paris

1.5 まとめ

このように時空間符号化と時空間変調のアイデアにより数々の表示システムを開発した。この内容に関しては、次章以降に記す。

これらの表示システムを用いたサービスを事業化することによりベンチャー企業として成長していったが、もちろん技術的には表示部だけでなく、コンテンツを制作するツール、遅延なく表示するソフトウェアの開発や大量の映像データの配信システム、番組配信スケジュール、携帯電話との連動、通行人数の自動カウントや視認者の特性分析等デジタル・サイネージ事業更にはデジタル・プロモーション事業においては数々の技術開発が必要となった。また単に技術開発だけでなく、電子機器の受託生産サービス（EMS: Electronics Manufacturing Service）という仕組みの無かった日本で生産技術、品質管理技術の長けた大手製造メーカーとの生産アライアンスや大手総合商社の販売スキームとの連携を図るバーチャルコーポレーション・スキームを作り実行した。更に LED ネオンで競合した既存のネオン業者、看板業者を LED 表示システムの施工、メンテナンスの組織に再編して全国展開を図った。このようにして技術開発からスタートしたベンチャーは、技術以外の仕組みを開発しながら企業として生き残り、その事業は人々の生活に役に立つサービスに成長していった。

第 2 章

時空間符号化とデジタル表示

2.0 Abstract

時空間符号化についての基礎知識について記す。まず初めに先行研究として NTSC 信号について、1次元標本化と2次元標本化による周波数構造の見やすさの違いを述べる。3次元の時空間符号化で映像データを捉えることにより、多様な表示システムの開発につながるモデルを作ることができた。次に時空間符号化とホールド補間族について述べる。この考え方をを用いて、超高速 LED 表示システムの開発を行なった。

2.1 はじめに

残像を用いた表示システムの開発の基礎として時空間符号化がある。ヒトの視覚システムと同様、画像圧縮やデジタル表示システムの基礎としての時空間符号化があるが、本論文において必要な基礎知識についてまとめておく。

2.1.1 先行研究 1 : NTSC TV 信号

従来の NTSC(National Television System Committee) TV(television)信号は、撮像管とブラウン管表示装置(以下 CRT)と共にアナログ方式の機器で構成することを前提とした信号伝送方式である。放送局から NTSC 方式で送られて来る輝度信号に従って、CRT の電子ビームの強さを変化させ輝度をコントロールするアナログ方式の制御で、Line スキャン関数は1次元の時間関数 $f(t)$ で表現される。

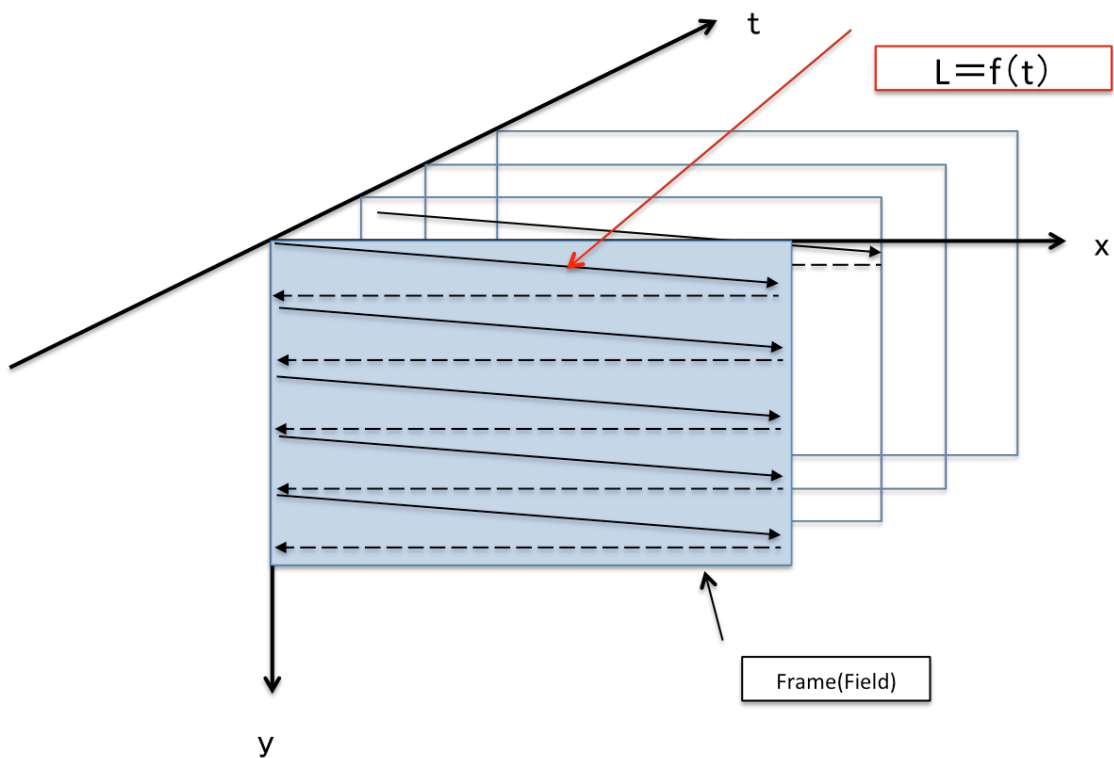


図 2.1 テレビ信号の概念図

表示フレームは時空間上切り出されているが、発光点は一次の時間関数 $f(t)$ で表現される。

ブラウン管表示装置（以下 CRT）において、電子ビームでの点が **Line** スキャンする $f(t)$ （=時間を変数とする 1 次関数）の考え方が TV 信号の周波数特性を複雑にして分かりにくくしている。この電子ビームでのスキャンの周波数空間での表現は次のように考えられる。

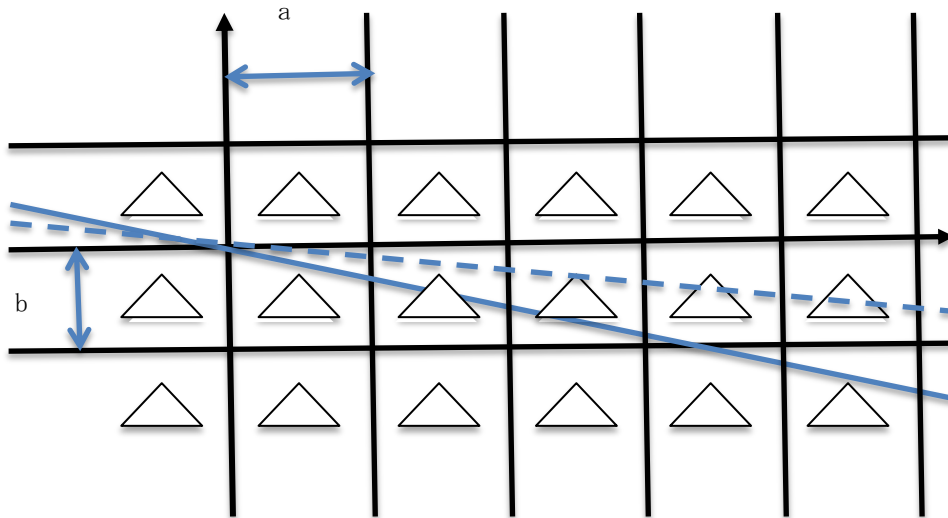


図 2.2 テレビ信号 (NTSC 信号) 1 次の時間関数 $f(t)$ の概念図

図 2.2 のように NTSC 信号では $30\text{frame}/\text{sec}$ では、動画像の表示特性が悪い為、インターレース方式により擬似的に 1frame を 2field に分割して $60\text{field}/\text{sec}$ の表示にしている。この為、静止画では 1field の倍の縦解像度が得られ、動画では縦解像度は半分になるが $60\text{field}/\text{sec}$ の追従性能を持った表示方式となっている。このインターレース方式を採用しているため、図 2.3 のような水平同期周波数 f_H の側波帯が隣同士入れ子構造となるような複雑な周波数構造となっている。この時入れ子構造の周波数が互いに干渉しないように楕円フィルターと呼ばれる特殊な帯域フィルターで原信号の周波数制限をしている。

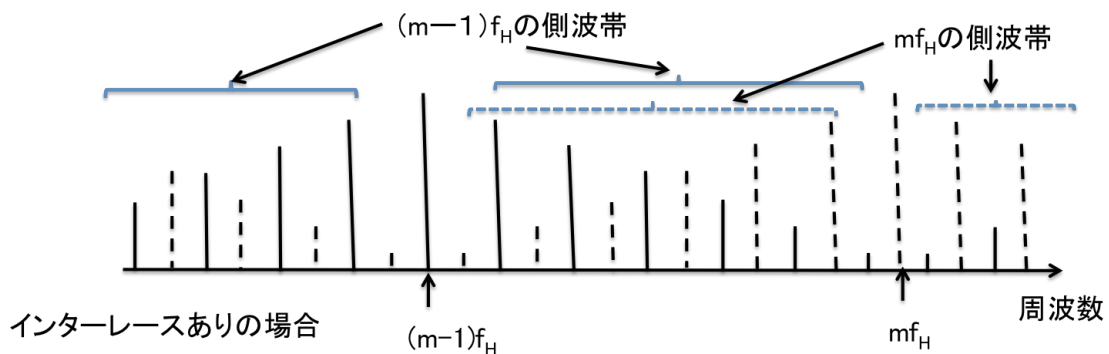


図 2.3 NTSC 信号 インターレース方式の周波数構造を 1 次元周波数空間で表現した場合

更に、輝度信号からなる NTSC 白黒方式を拡張した NTSC カラー表示方式に関しては、下図 2.4 に示すようにカラー信号を色副搬送波で輝度信号に多重化しているため、

1次元の周波数構造は更に複雑な入れ子構造に見える。

何故このような複雑な伝送方式を用いたかという、輝度信号のみからなる白黒 NTSC 信号との互換性を保つことにより白黒 CRT 受像機でも表示可能とし、カラー CRT 受像機と併用することを可能とした。

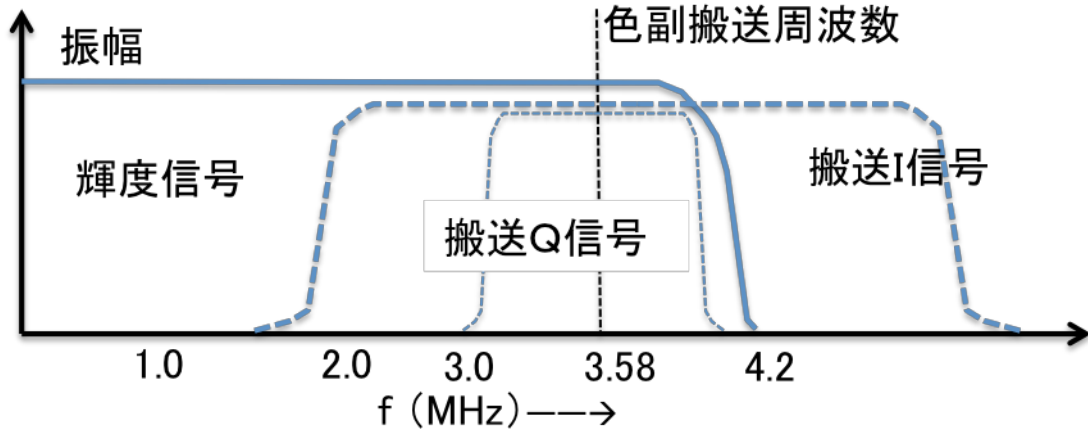


図 2.4a NTSC カラー信号 概略周波数構造

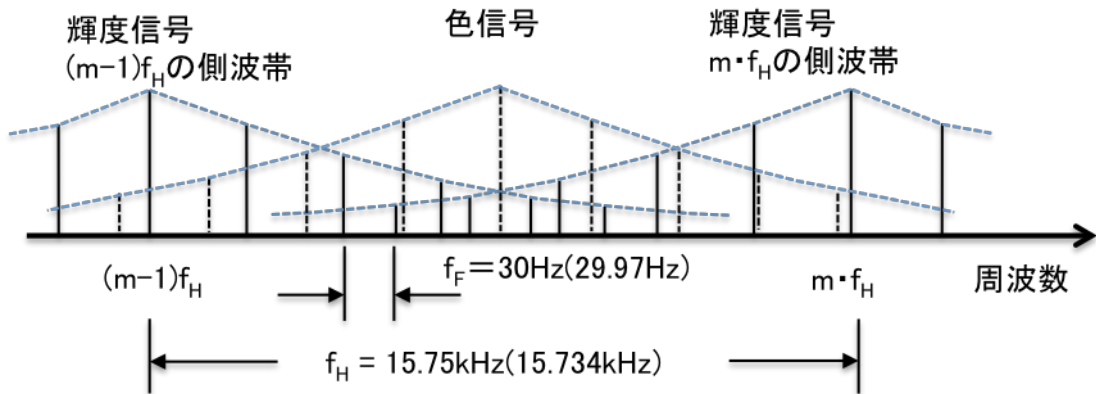


図 2.4b NTSC カラー信号 水平同期周波数 f_H 詳細

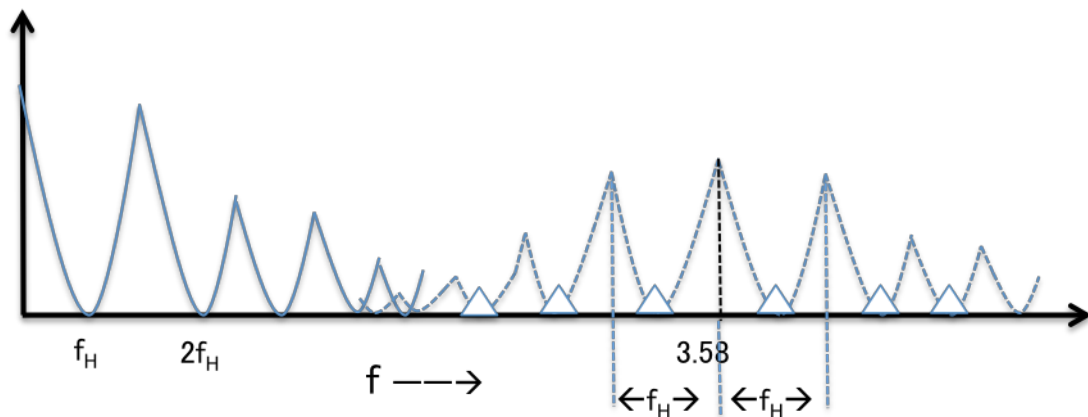


図 2.4c NTSC カラー信号 水平同期周波数 f_H に注目した概略図

2.1.2 先行研究2： γ 逆補正

第4章 超高速表示システムの中でも触れるが、撮像管を用いた TV カメラとブラウン管を用いた TV 受像機(以下 CRT)というペアがガンマ補正した信号を TV 信号としてやりとりするという独特の信号処理形態を生み出した。ただ一度決まってしまった通信形式は従来機器との互換性を保つ意味から変えることが難しい。このため CRT 以外のディスプレイである液晶ディスプレイや LED ディスプレイが発明され、世の中に普及するようになっても γ 補正した信号で映像信号をやりとりする規格が残ってしまった。液晶ディスプレイは γ 特性が CRT より格段に少なく、LED ディスプレイの場合はほぼリニアであるように設計されている。従って、ガンマ補正された入力信号をガンマ逆補正して表示データとして使用する必要がある。これがデジタルデータの中では一定の bit 数での計算誤差を生み出すことになった。CRT の中でもトリニオンカラー CRT などではガンマ特性が異なるので補正する必要はあったが、特に液晶ディスプレイや LED ディスプレイがガンマ補正された TV 信号を受けて映像表示するようになると、ガンマ逆補正をしてリニアな特性の画像信号が必要になる。これをいかに計算誤差が少なく高速に処理できるかも技術革新のひとつのキーとなった。

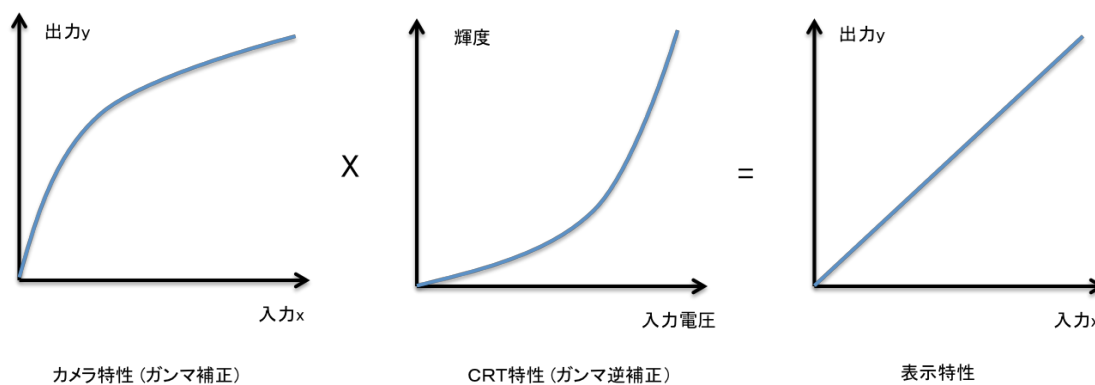


図 2.5 撮像管とブラウン管の特性

2.2 時空間符号化

当初の NTSC 信号や CRT 受像機による表示方式はアナログ方式であったが、液晶 (LCD) 表示装置や LED 表示装置が開発されデジタル処理されるようになってきた。また高精細化、大画面化の流れの中でデジタル化は必須の技術となっていく。

2.2.1 1次元の標本化定理

音の世界では、映像に先行して CD や DAT といったデジタル化がされていった。またサンプリング・キーボードといった自然界の音源をデジタル化し、そのデジタル音源を元に音階を構成する電子キーボード等も開発された。

音のデジタル化で用いられていたのが 1 次元の標本化定理である。

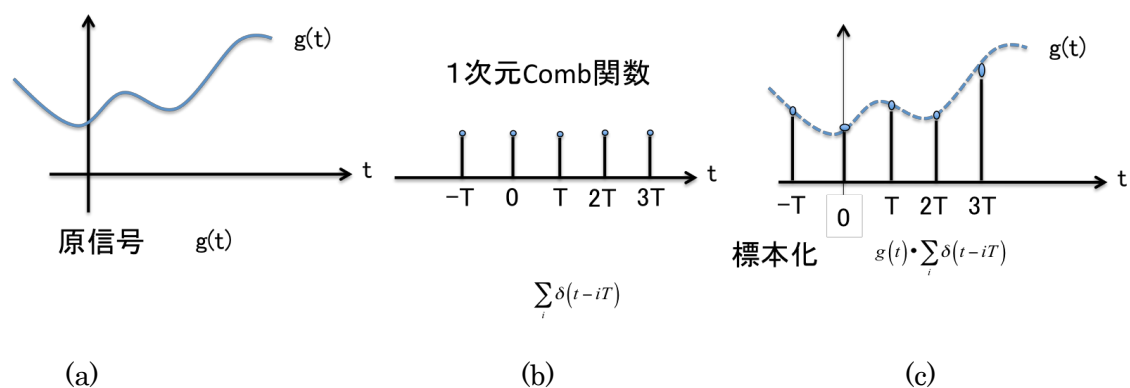


図 2.6 1 次元標本化 (a) 原信号, (b) 1 次元 Comb 関数, (c) 1 次元標本化関数

原信号と標本化された信号の周波数空間は次のようになる(図 2.7)。つまり、原信号が周波数帯域制限されていないと標本化した際に折り返し歪みが発生する。

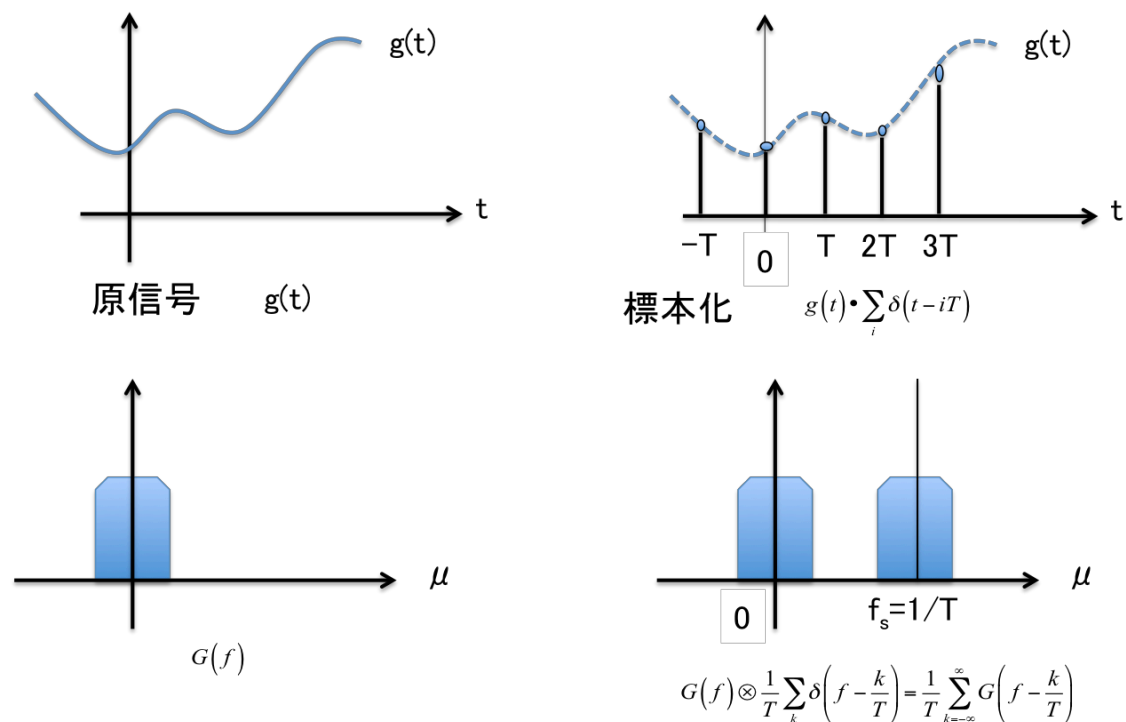


図 2.7 1 次元標本化と周波数構造

2.2.2 先行研究 3 : 2次元標本化 [23-38]

日立中央研究所の吹抜敬彦ら[23,24,31,33,36-38]は, 2.1.1 における NTSC 信号の複雑な 1次元の周波数特性を 2次元の空間周波数特性として処理することにより, 構造を明確にした. 彼らはこれを用いて EDTV(enhanced definition television)方式を製品化した. 最終的には放送機器側と受像機側双方を新規開発する新しい放送規格である HDTV (ハイビジョンテレビ) 規格に統一された.

NTSC 信号の 2次元標本化の概念を図 2.8 に示す. 1/30 秒での frame という単位と 1frame 内での 2次元サンプリングされた格子点 (画素) という構成になる(図 2.9).

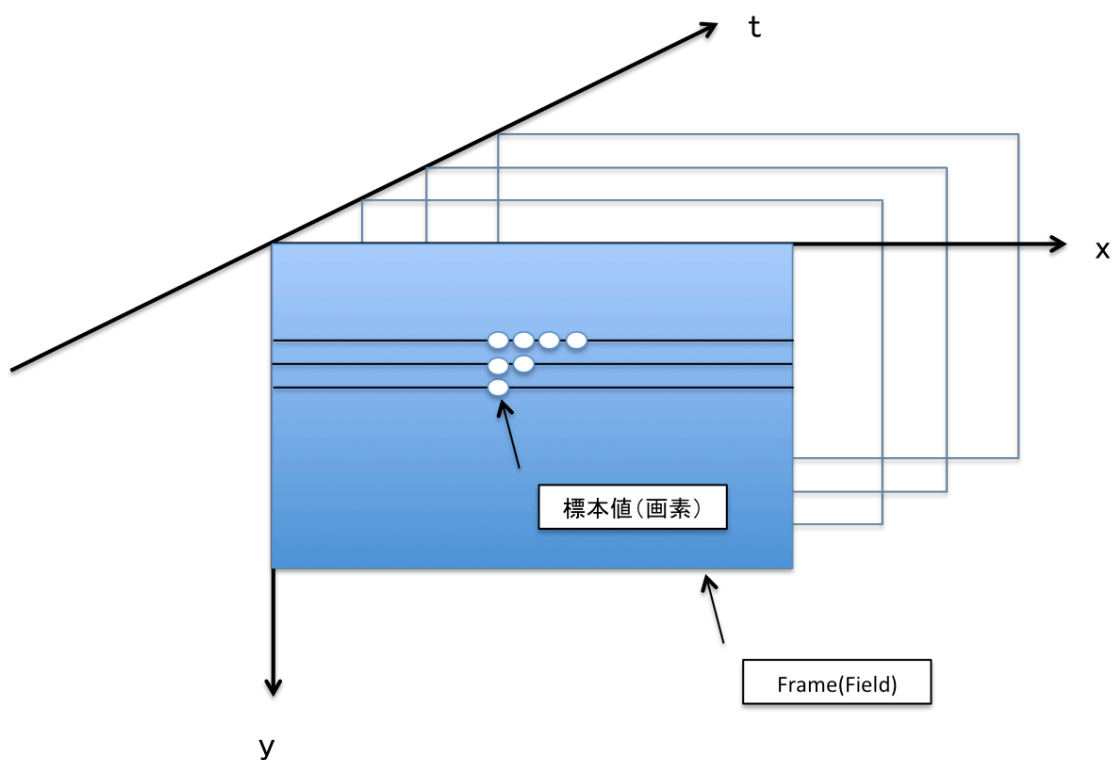


図 2.8 NTSC 信号の 2次元標本化の概念図

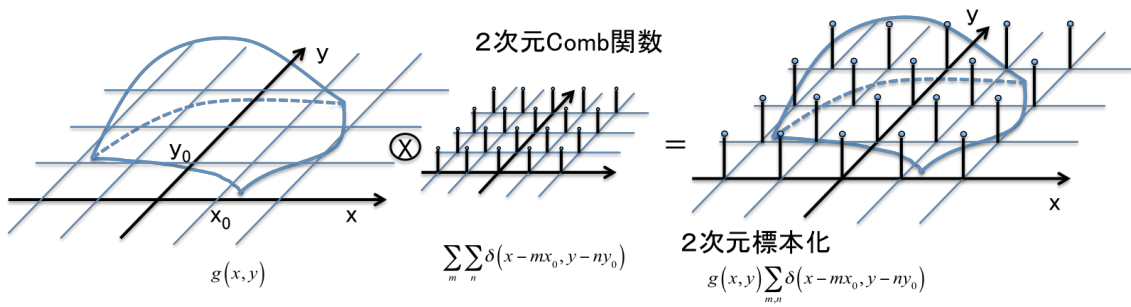


図 2.9 2次元標本化 (frame 内)

2次元標本化における周波数スペクトラムは図 2.10 のようになる。周波数スペクトラムをみると分かるように、2次元原信号を2次元の空間周波数フィルターで帯域制限しておく必要がある。

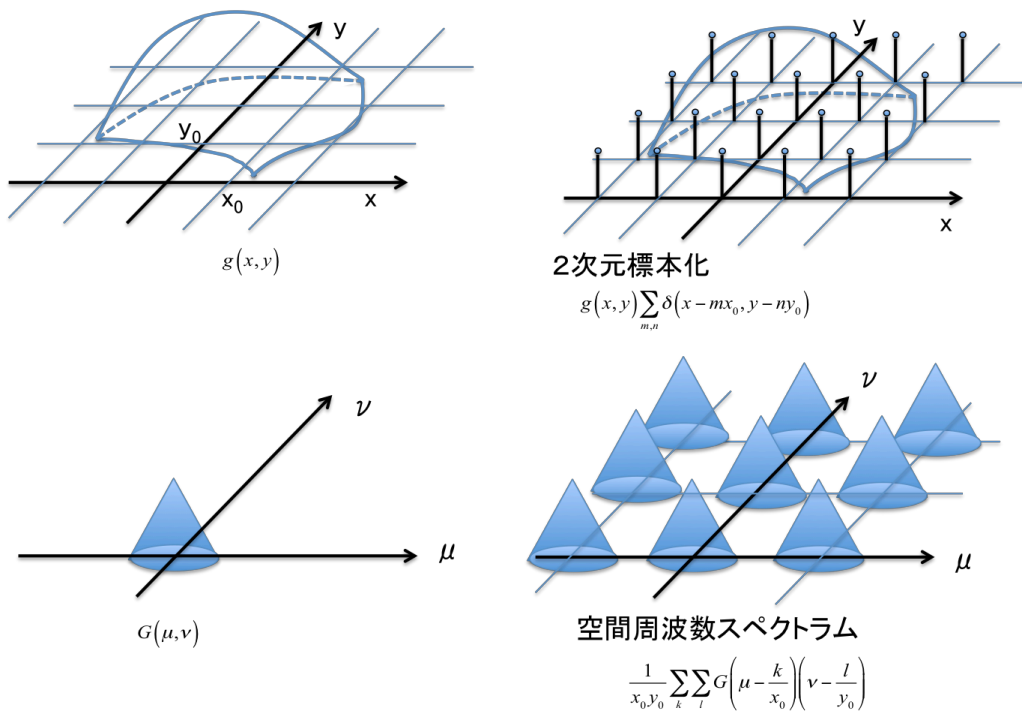


図 2.10 2次元標本化と空間周波数スペクトラム

輝度スペクトラムも2次元空間周波数として捉えると、シンプルに表現され、1次元に射影したものが、図 2.3 の1次元周波数であることがわかる(図 2.11)。

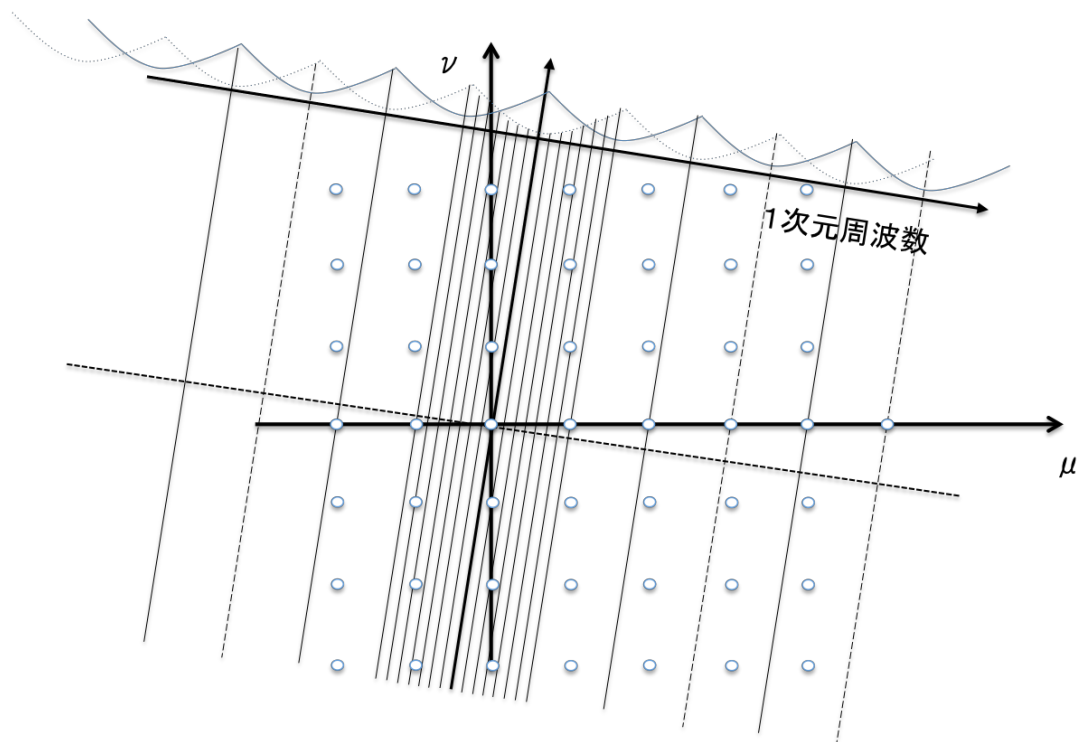


図 2.11 2次元周波数と射影された1次元周波数

このように2次元の空間周波数として捉えると、周波数構造が分かり易く処理方法を明確に捉えることが可能となる。日立はこの2次元空間周波数の理論を用いてETDV規格を発表したが、我々は新たな表示方法をいくつか開発した。

2.3 時空間符号化とホールド補間族

アナログ信号を時空間符号化してデジタル信号とすると、サンプリング周波数 f_s により離散データとなる。離散データそのものを用いると折り返し歪みが目立ったり、フリッカー感を感じたりするため、ホールド補間や直線補間等で離散データ間を補間表示することが多いので、その際の周波数特性に関して考察する。

2.3.1 1次元サンプリングと Hold 補間族

1次元サンプリングと Hold 補間族に関しては、歌声入力楽器や自然界の音をサンプリングして、それを音源として音階を作るサンプリング・キーボード等の理論的背景となっている。

記録時のサンプリング周波数 f_s 、再生時のサンプリング周波数 $f_{out}=nf_s$ とし、記録時の値を Hold した際の周波数特性について調べる。

ホールド補間および直線補間について、digital filter 特性を調べると、ホールド補間および直線補間は、

ホールド補間族

$$H_{m,n}(z) = \frac{1}{n^{m-1}} \frac{(1+z+\dots+z^{n-1})^m}{z^{n-1}}$$

の一部であることがわかる。

ホールド補間

$$H_{1,n}(z) = \frac{1+z+\dots+z^{n-1}}{z^{n-1}}$$

直線補間

$$H_{2,n}(z) = \frac{1}{n} \frac{(1+z+\dots+z^{n-1})^2}{z^{n-1}}$$

但し, $n = \frac{f_{in}}{f_{out}}$;

$f_{in} = f_s$: sampling 周波数

f_{out} : 出力周波数

である.

1次元サンプリングと Hold 補間族の応用事例としては、自然界の音をサンプリングして、それを音源として音階を作る電子楽器サンプリング・キーボード等の理論的背景となる。

記録時のサンプリング周波数 $f_{in} = f_s$, 再生時の出力周波数 $f_{out} = n f_s$ とし、記録時の値を Hold した際の周波数特性について調べる。

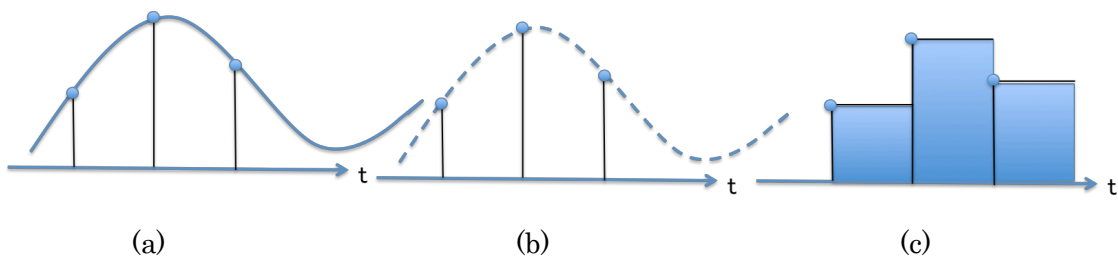


図 2.12 一次時間関数のサンプリングとホールド補間

これらの周波数構造は次のようになる :

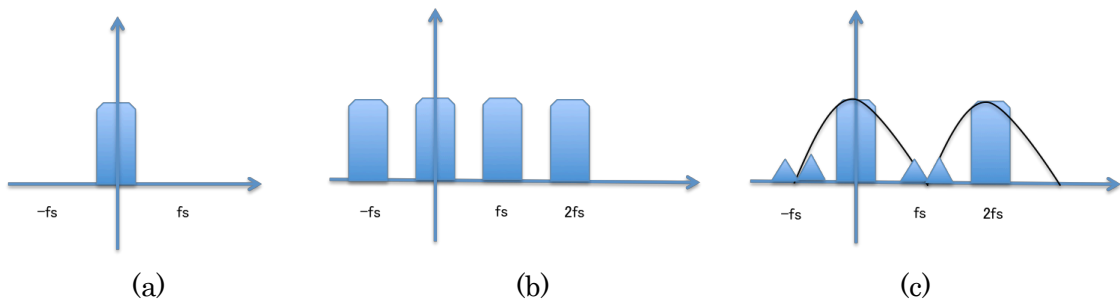


図 2.12 一次時間関数の周波数スペクトラム (a) 元関数の周波数スペクトラム, (b) サンプリング後の周波数スペクトラム, ホールド補間の周波数スペクトラム

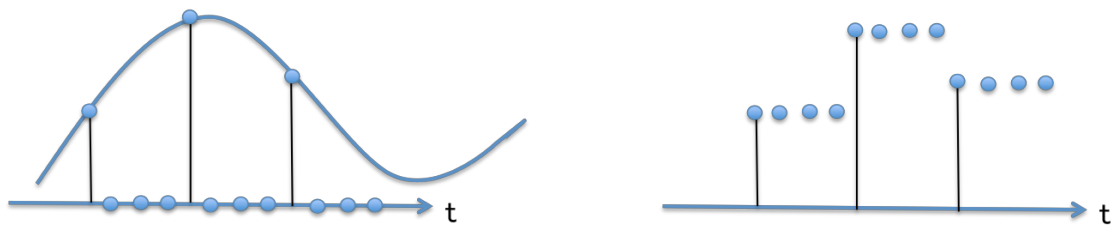


図 2.13 サンプリングとホールド補間

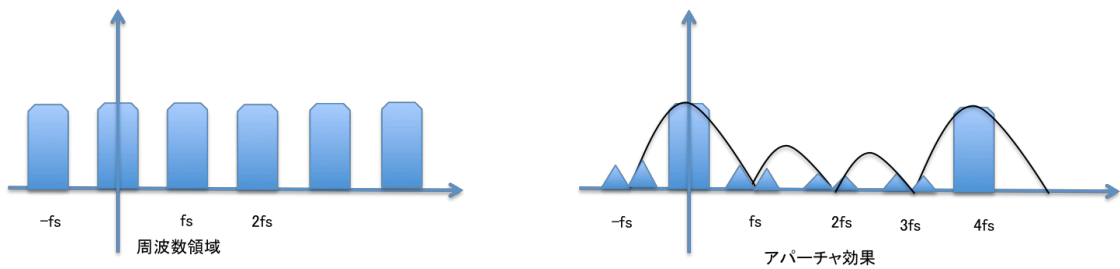


図 2.14 サンプリングとホールド補間の周波数スペクトラム

具体的に, 少し詳しく見ていくと ;

1) $N=2$ の場合 $fs' = 2fs$

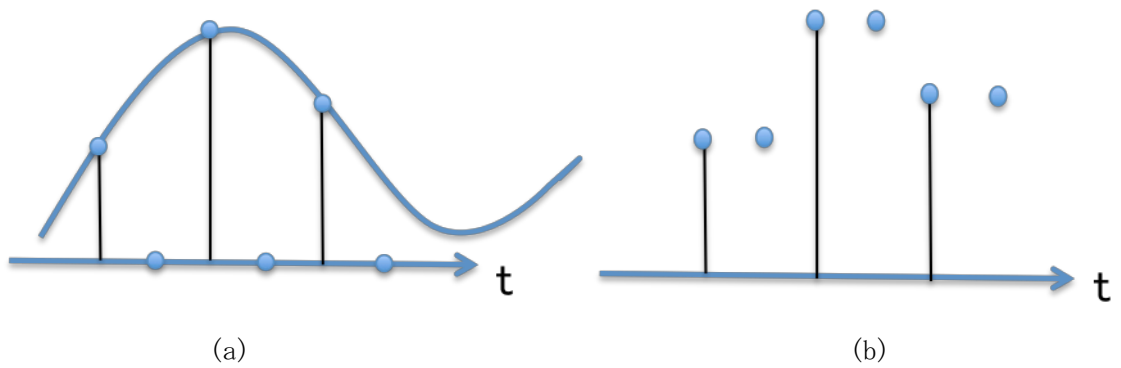


図 2.14 1次元サンプリングとホールド補間(N=2)

(a) 原関数とサンプリング値, (b) ホールド補間

差分方程式 input= $x(n)$, output= $y(n)$

$$y(n) = x(n-1] + x(n)$$

z 変換すると

$$Y(z) = z^{-1}X(z) + X(z)$$

従って, システム関数 $H(z)$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = 1 + z^{-1}$$

$$\begin{aligned} H(z) &= \frac{Y(z)}{X(z)} = z^{-1} + z^0 + 1 \\ &= \frac{1 + z + z^2}{z^2} \end{aligned}$$

を得る.

次にこの振幅特性をみる.

$$H(z) = \frac{z+1}{z}$$

であるから,

零点 $z = -1$

極 0

となり, 極が原点にあるので, 振幅特性に影響しない. 従って, 零点の方のみに着眼すると図 2.14 を得る.

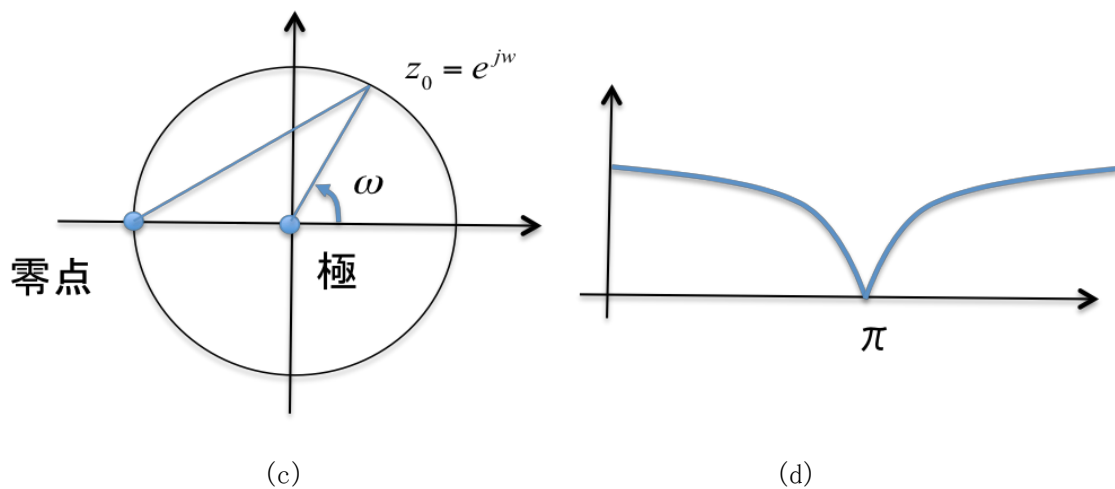


図 2.14 1次元サンプリング $N=2$ (c) 零点と極, (d) 位相特性

2) $N=3$ の場合, $f_{out}=3f_{in}$

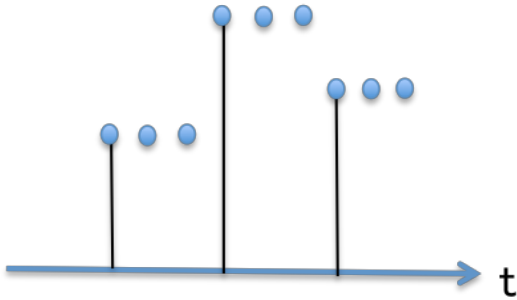


図 2.15 ホールド補間, $N=3$

差分方程式 $\text{input}=x(n)$, $\text{output}=y(n)$

$$y(n) = x(n-2) + x(n-1) + x(n)$$

を z 変換すると

$$Y(z) = z^{-2}X(z) + z^{-1}X(z) + X(z)$$

が得られる. 従って, システム関数 $H(z)$

$$\begin{aligned} H(z) &= \frac{Y(z)}{X(z)} = z^{-2} + z^{-1} + 1 \\ &= \frac{1 + z + z^2}{z^2} \end{aligned}$$

を得る.

次にこの振幅特性をみる.

零点 $e^{j\frac{2}{3}\pi}, e^{j\frac{4}{3}\pi}$

極 0 で 2 乗根

その振幅特性は, 図 2.16 のようになる.

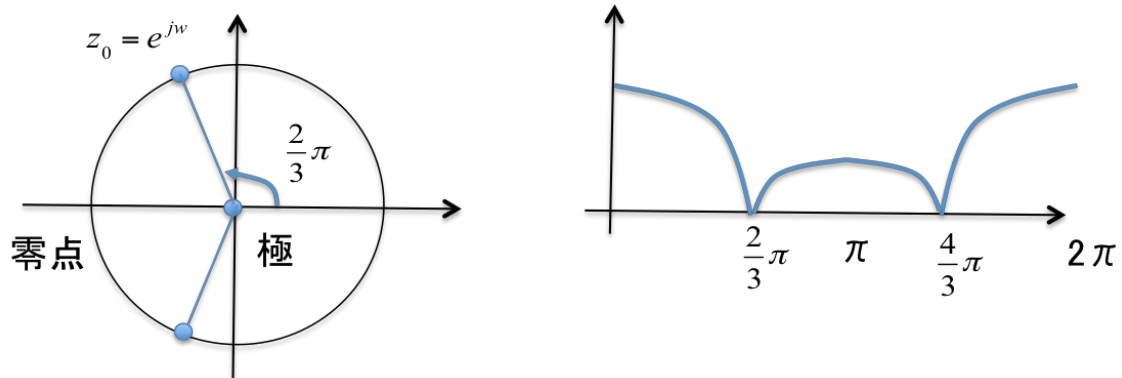


図 2.16 ホールド補間 $N=3$ の場合の極と零点, 振幅位相特性

従って, 周波数特性は図 2.17 となる.

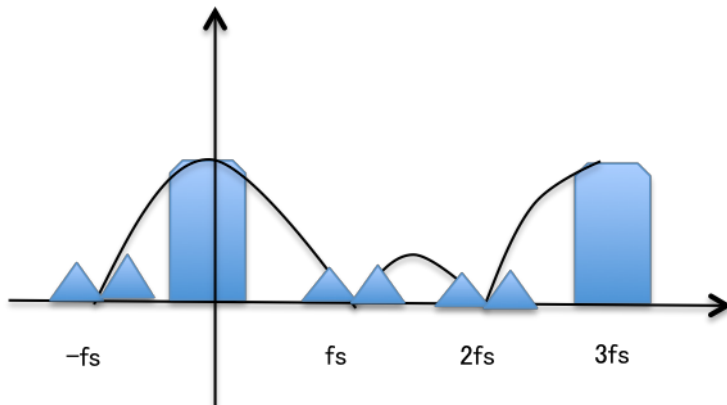


図 2.17 $N=3$ の場合の周波数特性

同様にして,

3) $f_{out} = n f_{in}$ の場合は、

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = z^{n \square 1} + z^{n \square 2} + \dots + 1$$

$$= \frac{1 + z + \dots + z^{n \square 1}}{z^{n \square 1}}$$

を得る.

次にこの振幅特性をみる.

零点 $z = e^{j\omega}; \omega = \frac{2\pi}{n} m \quad m = 1, \dots, n \square 1$

極 $z=0$; $n-1$ 乗根

このようにして, hold 補間が下図のような digital filter になっていることが直感的に分かる.

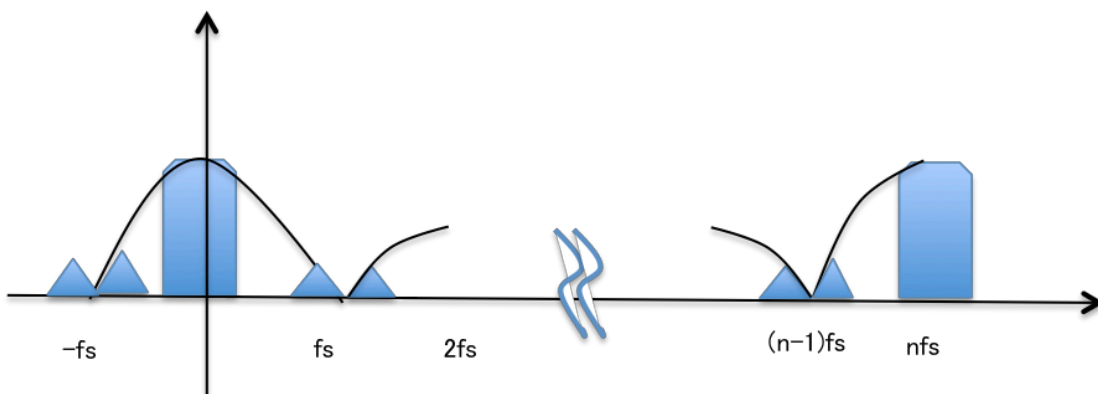


図 2.18 ホールド補間 $N=n$ の場合の周波数特性

2.3.2 直線補間

直線補間のシステム関数は次のようになる。

$$H_{2,n}(z) = \frac{1}{n} \cdot \frac{(1+z+\dots+z^{n-1})^2}{z^{n-1}}$$

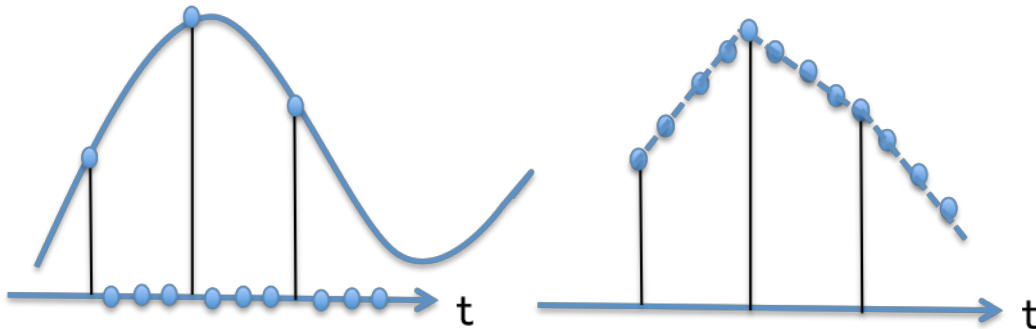


図 2.19 N=4 の場合の原関数とサンプリング値, 直線補間

今、極が原点なので、分子に着目すると直線補間のシステム関数の分子 $l(z)=(h(z))^2$ となる関係がある。但し、 $h(z)$ = ホールド補間のシステム関数の分子とする。

すなわち、振幅特性はホールド補間の特性を強調した形となることがわかる。高調波部分の折り返し成分をホールド補間より抑圧した **Digital Filter** となる。

N=2 の場合, $f_{out}=2f_{in}$

$$y(n) = \frac{1}{2}x(n-1) + x(n) + \frac{1}{2}x(n+1)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1+2z+z^2}{2z} = \frac{(1+z)^2}{2z}$$

同様に, n=3 の場合,

$$y(n) = \frac{1}{3}x(n-2) + \frac{2}{3}x(n-1) + x(n) + \frac{2}{3}x(n+1) + \frac{1}{3}x(n+2)$$

$$H(z) = \frac{1+2z+3z^2+2z^3+z^4}{3z} = \frac{(1+z+z^2)^2}{3z}$$

となる。

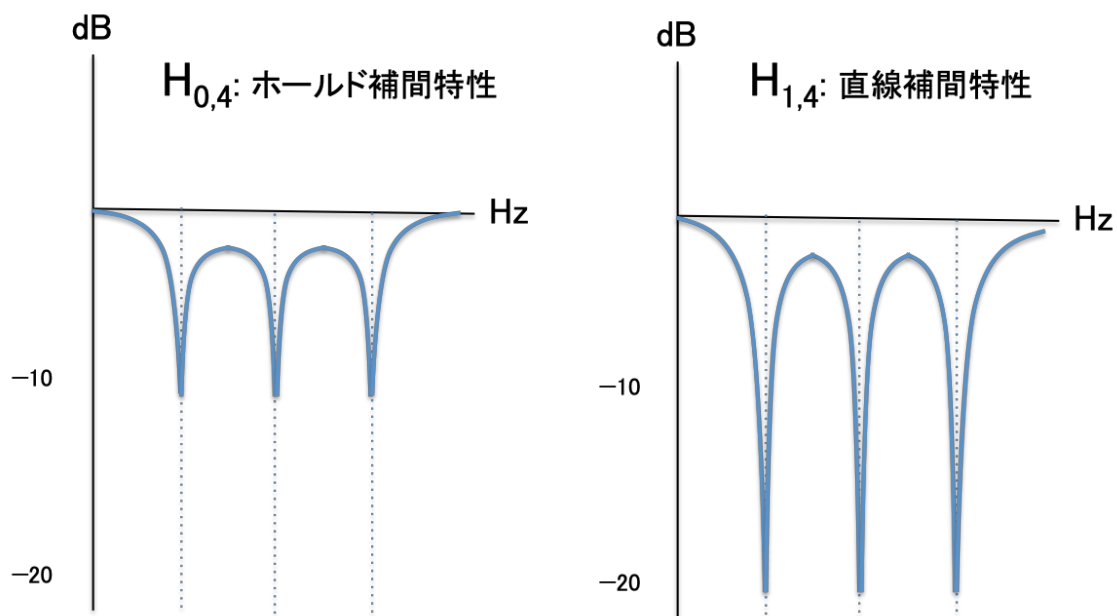


図 2.20 $N=4$ の場合のホールド補間と直線補間の周波数フィルター特性

2.4 まとめ

本章では、時空間符号化とホールド補間族を説明した。

第3章では、2.2節の時空間符号化の2次元空間での画像モデルを用いて、時空間変調により各種の表示システムの分類を行う。第5章超高速表示システムでは、2.3節のホールド補間を用いて60fpsの入力映像を繰り返し表示し、3,420fps、4,320fpsで表示する高速表示システムを開発した。

第3章

残像効果を用いた表示システム

3.0 Abstract

ヒトの視覚システムを利用した様々な表示システムを時空間変調のモデルにより説明する。これらの表示システムは2次元時間符号化で画像データを捉えたことにより発明された表示方式である。

3.1 はじめに

3.1.1 背景と目的

残像効果を利用した表示システムとして、100年以上前に映画やTVが発明され、多くの人々の娯楽や仕事の中に活用されてきた。TV技術もブラウン管表示機だけでなく液晶モジュール、LED素子、EL素子など様々な表示素子が発明されて、大画面表示や曲げられるディスプレイ等、そのアプリケーションも拡大してきている。

その中でも自発光素子で高速制御可能なLED素子を用いて、ヒトの視覚システムの中でも残像効果を用いて各種の応用表示システムを開発し、従来存在しなかったサービスを提供することができた。

特に第2章で述べたように、2次元の時空間符号化で映像データを捉えると、表示方法に関しても「画像データをどのような電子窓を通して、2次元空間 x 時間軸 (2次元時空間) で表現する」(図 3.1)というシンプルな考え方で表示システムを捉えることができ、新たな表示システムを体系的に開発することができた。表示素子の集合体を表示窓プレーン、時空間符号化された画像データの1フレームをデータプレーンと呼ぶことにする。

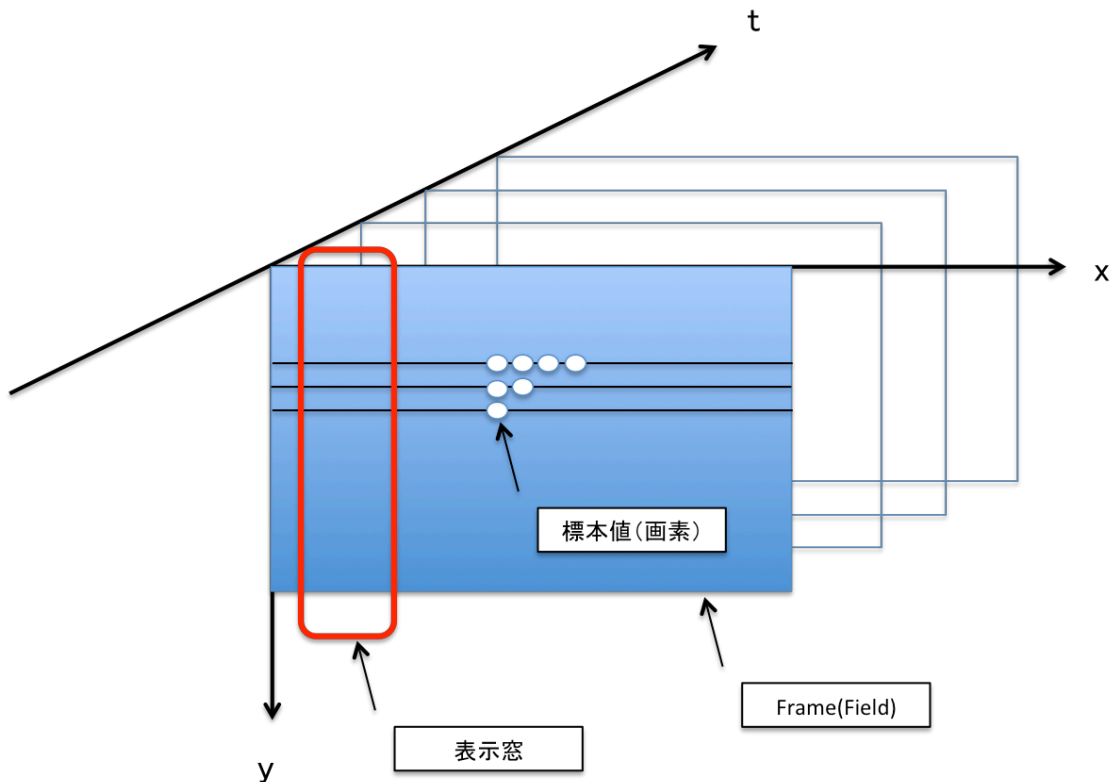


図 3.1 時空間符号化データと表示窓

各種の表示システムを開発していて、ヒトの視覚システムの残像効果を用いた表示システムと考えていたのであるが、所謂残像効果というものでは説明のつかないものが出てきた。特に Cyber Vision の考察に関しては別の章（第 6 章）で詳述する。この章では、LED 発光素子を用いヒトの視覚システムを利用した各種の表示装置を紹介する。大きく分けると次のように分類できる。

- 1) 表示窓プレーンを物理的に移動し、その表示窓を通して裏側にあるデータプレーンの画像データを見ることにより、ヒトの視覚システム内に仮想的に表示スクリーンを構成する表示方式。

第 3.2 節では、この表示窓プレーンを物理的に移動させて表示する表示方式について説明する。

表示製品としては、表示窓プレーンを何を動力として移動させるかにより；

- 人が表示列を振ることによって表示を得る表示システム； Wave Writer
- モーターによって回転するテーブルに表示素子列を固定した； Round Slit
- 自転車のスポークにつけて表示をする； Cycle Slit

といった製品群を発明し、販売した。

第 3.3 節では、表示部は固定し観察者が移動することにより表示窓プレーンが相対的に移動することにより第 3.2 節と同様の効果を得る表示方式について説明する。具体的な事例としては、地下鉄のトンネルの壁面などに表示システムを固定し、そこを通過する電車の中に乗っている乗客が観察者となる。電車と表示機の距離が短いため、観察者から表示機を目で追うことが難しいため、観察者に対して表示機が相対移動しながら画像データが制御されるため、観察者から見ると窓の外に映像が浮かんで見えることになる。

- 相対移動型表示システム TimeSlit (AVIX 社)
- 改良された TimeSlit を用いて世界展開を図る AdTrackMedia 社

- 2) 固定されたデジタル表示素子に制御された画像データを連続的に表示する。これは表示窓プレーンを固定し、その裏側でデータプレーンを移動することにより、表示窓を通して裏側のデータをヒトの視覚システム内に再構成するとモデル化される。第 3.4 節では、平行に設置された表示列に対して、画像データを水平スキャンすることにより、スクロール表示に見える表示システムを紹介する； Pole Vision
- 第 3.5 節では、粗な表示素子に周辺画素データをダイナミック表示することにより超解像表示をする表示システムを紹介する； Cyber Vision

第 3.6 節では、表示窓プレーンが色分解された RGB 表示素子列で構成されている場合の色混ざりについて説明する。表示窓プレーンが移動する場合とデータプレーンが移動する場合の色混ざりの違いについても説明する。

3.2 デジタル表示列を物理的に移動する

模式的に考えると、固定されたデータ・プレーン上を電子的な窓である表示窓プレーンが物理的にスキャンしてその裏側にあるデータ・プレーンの画素を順次、視認者に対して表示しているとモデル化できる。各々の列表示は、250nsec 等微小時間での表示であるが、ヒトの目の残像効果により、各列の表示は残り裏側のデータプレーンの全体画面を見ることができる。

このモデルに基づいた表示システムとして、第 1 章で紹介した、Wave Writer, Round Slit, Cycle Slit 等があり、物理的にどのように動かすかだけの違いである。

ライン表示スピードであるが、これは動きの周期に依存する。例えば Wave Writer の場合では、スイング周期は標準的には 1.25~1.75sec である。漢字かなまじり 2~3 文字、アルファベット 4~5 文字程度が読みやすい。Wave Writer の場合、表示縦列 32 ドットとなっており、横幅も 32 ドット表示すると 3 文字の場合、横のドット数は 96 ドットとなる。スイングの両端は加速度の強いエリアで文字が変形しやすい為、スイング両端には表示を出さない。また印刷文字の場合は、文字間は 1 列で済むが残像表示の場合は、文字の区切りを明確にするために、2~3 ドット開ける方が読みやすい。このようにすると 1~1.5sec の半分の時間に表示スキャンを行うことになる。このことから標準的なラインスキャン用のライン clock は 3.3~4.6msec 程度となる。スキャンスピードの検出センサーの検出域もこの標準スピードを含む最低最高スピードで設定することになる。

もちろん全長 57cm の Wave Writer と半分程度の J-League Supporters Light(JSL) では、スイングスピードもスイング周期も異なる。

1 回だけ瞬時表示しただけでは、何かが表示されたことは分かるが、何が表示されたのか記憶に残らない為、繰り返し表示することにより明確にメッセージを伝えるように設計した。この為、スイングスピード及び表示の位置も空間上のほぼ同一の位置に表示する必要がある。

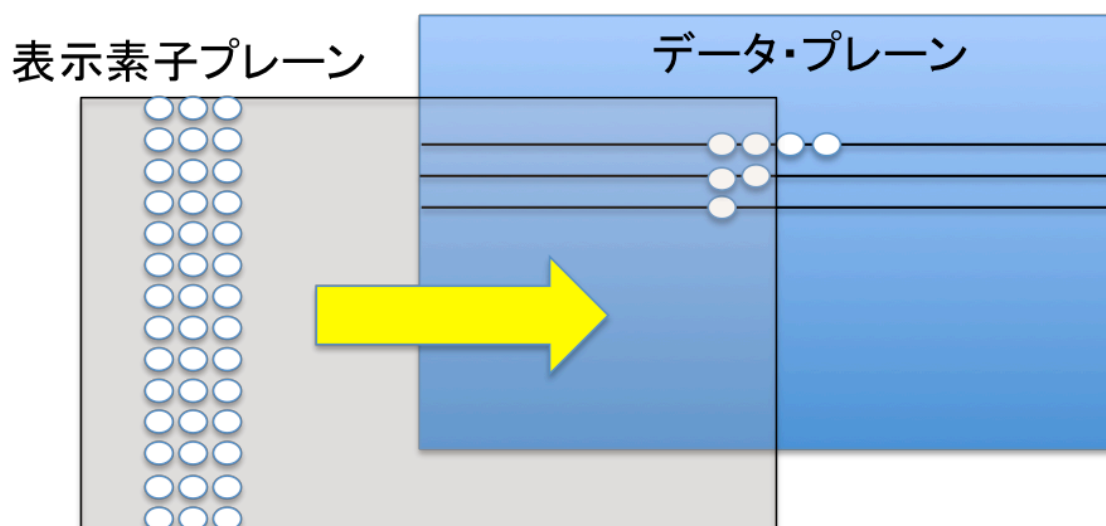


図 3.2 表示窓プレーンを一定方向に動かすことにより、表示窓プレーン上の表示素子を通して裏側のデータプレーン上のデータを表示する。

3.2.2 表示素子プレーンを相対移動させる

動作モデルとしては表示素子プレーンを移動させるのであるが、表示素子は固定し移動体の視認者が移動しながら表示素子を見ることにより相対的に表示素子プレーンが移動する方式が **TimeSlit** である。表示素子は固定しているが、データプレーン上を電子窓である表示素子がスキャンする原理は同じである。

スキャンスピードは移動体の移動スピードを検出し、更に移動体の同一の位置に繰り返し表示するため、移動体の位置情報が必要になる。このため、車両や車輪のエッジを光学センサーにより検出し、この情報を元に車両位置と車両のスピードを計算するようにした。

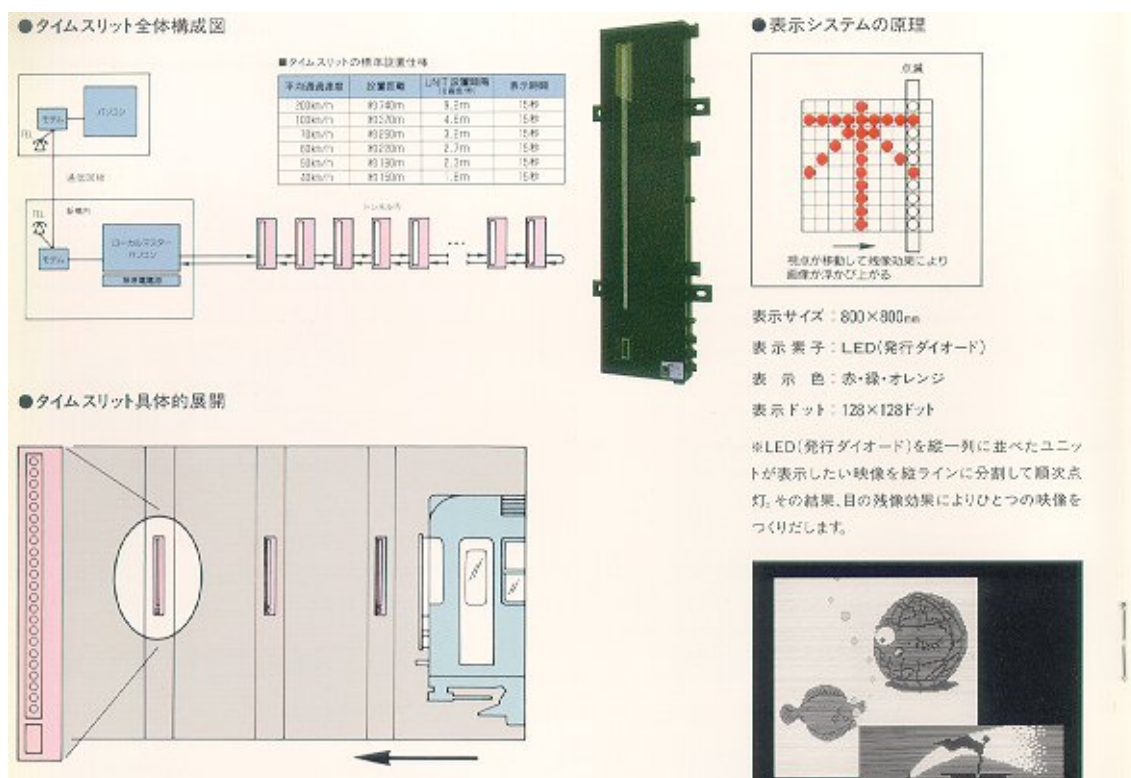


図 3.3 電子的に制御された TV 方式の Time Slit

Time Slit は電子的にコントロールするので **TV** 方式であるが、1989 年に **Time Slit** を発表し、名古屋デザイン博覧会で会場外施設として期間限定運用すると、翌年トンネルビジョンという映画方式の相対移動表示方式が他社から発表された。

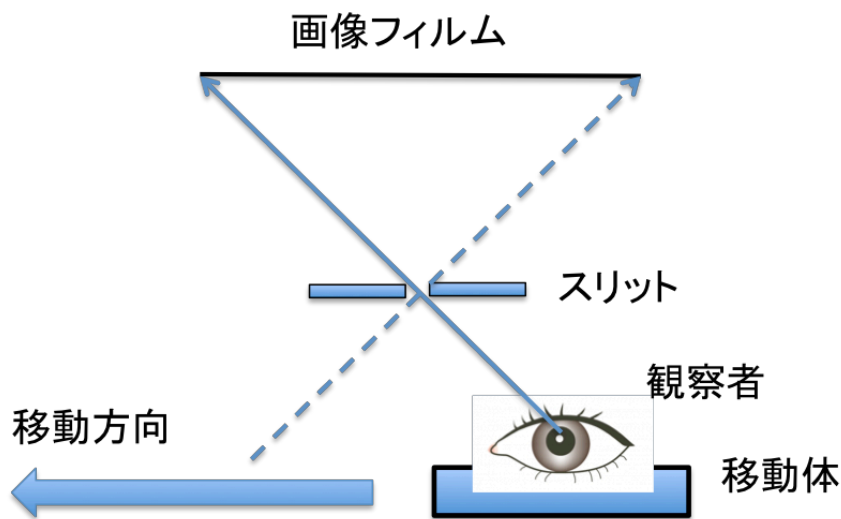


図 3.4 映画方式のトンネルビジョン

トンネルビジョンはスリットと画像フィルム間の距離を短くするためミラーを使って設置機器を薄くする工夫はしていたが、

1. 映像変更の為に、画像フィルムをトンネル内で変更する必要がある。
2. 移動体の幅方向の距離がある為、トンネルビジョン側に近い窓の近くにいる観察者と遠い観察者では画像の横幅が歪む欠点があった。

このような欠点を持った競合メーカーが現れたことにより、地下鉄やトンネル内の映像サービス事業において TimeSlit 機器の設置営業がしやすくなるというメリットがあった。

3.3 固定された表示素子列に周辺画素データを Dynamic 表示する

前節とは逆に、固定された表示素子列にデータを順次スキャン表示する。「固定された電子的な窓の裏側でデータ・プレーンを移動する」というモデルで考えると分かりやすい。

3.3.1 データ・プレーンを一定方向に移動

データ・プレーンを一定方向に移動させるとスクロール表示となる。この方式を用いた表示システムが Pole Vision である。少ない表示素子列で仮想的な大型 Vision を構成できるので、小型の電子看板から大型の LED ネオンサインとして利用されている。原理上スクロール表示という制約がある。

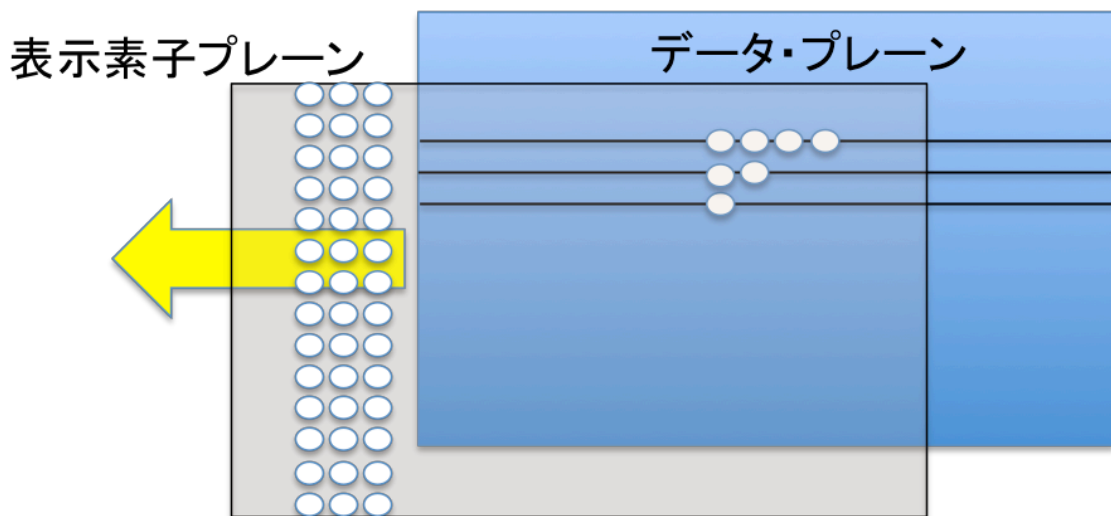


図 3.5 データ・プレーンを移動し、固定された表示窓プレーン上の表示素子を通してデータ・プレーン上の画像を観察者に表示する。

電子的な窓を通して、裏側の移動するデータプレーン上の画像を観察するモデルである。このモデルはリアルな世界において、窓を少し開けた隙間を通して外を走る移動体、例えば自動車が通過するのを見ているのと同様である。通過する自動車は全体像が分かるが背景として静止している景色は顔を動かして隙間からの視認エリアを広げないと見ることができない。

3.3.2 データ・プレーンを微小回転する（マイクロ・ローテート）

前節のようにデータ・プレーンを一定方向に移動するとスクロール表示となるが、データ・プレーンをマイクロ・ローテートしても超解像が得られる。なお、詳細については第6章で取り扱う。

この表示方式は、第1章 1.4.4 Qfront の事例その他においてこの周辺画素を Dynamic 表示する表示方式 (CyberVision 表示方式) で、図 3.6 のように、通常の TV 信号をマイクロ・ローテート順に subsampling して 4-subframe を作成し、4 倍のフレームレートで 4-subframe を連続的に表示するものである。Qfront の設計思想「不在建築」に準拠し、表示を出さない時は外観がガラスサッシのビルに見え、室内からは外が見える構造とした。その一方で解像度を犠牲にしない方法として、この CyberVision 表示方式を開発した。

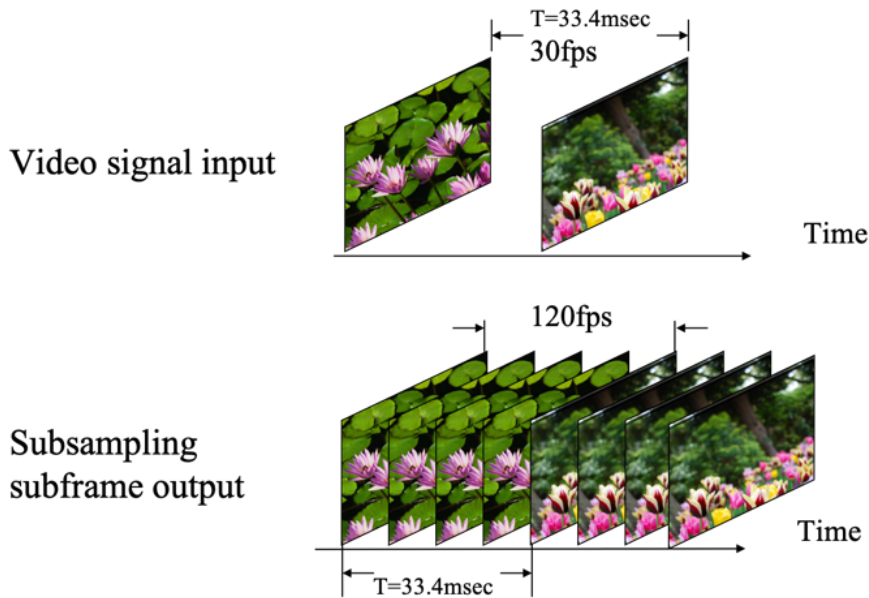


図 3.6 CyberVision 表示方式

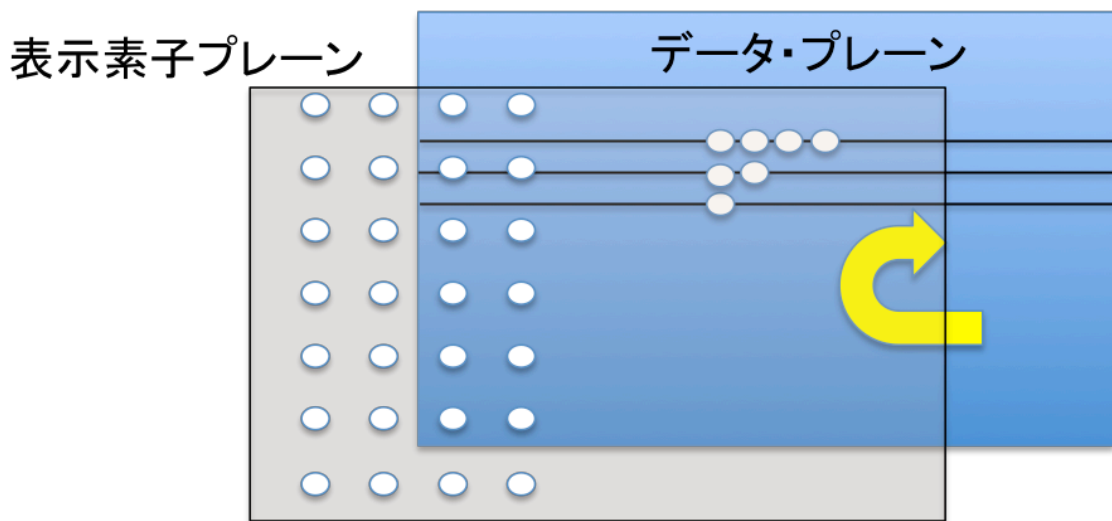


図 3.7 表示窓プレーンは固定し、データ・プレーンをマイクロ・ローテートする概念モデル

このモデルは、前節 3.3.1 のスクロールモデルよりも分かりにくいので、簡単な説明を付け加えることとする。

このモデルの電子窓である表示素子プレーンは、今までの例とは異なり、データプレーンの画素データより粗い表示ドットで構成されるパンチングメタルのようなプレーンである。

この表示プレーンの後ろでデータプレーンを動かす。実現の容易な表示方法として、データプレーンの密度に対して、縦横とも 1/2 の画素ピッチの表示プレーンがあるとする

る. データプレーンは左1ドット、上1ドット、右1ドット、下1ドットと微小回転(マイクロローテート)させる.

つまり, 表示素子 $D_{1,1}$ は, 表示されるデータとしては,

$$X_{1,1} \rightarrow X_{1,2} \rightarrow X_{2,2} \rightarrow X_{2,1}$$

という順番で点滅することになる.

例えば, 分かりやすい例として 8×8 ドットのドット漢字フォントである美咲フォントで上記を考えてみる. 通常漢字を表現するドット数としては最低でも $16 \sim 24$ ドットは必要とされているので, このドット数での漢字表現はかなり無理がある.

元の文字は「勾配」の「勾」である. これを美咲フォントで表現すると図 3.7 の上段のようになる. 美咲フォントの場合, 8×8 ドットと言っても漢字はほとんど 7×7 ドットで表現されている.

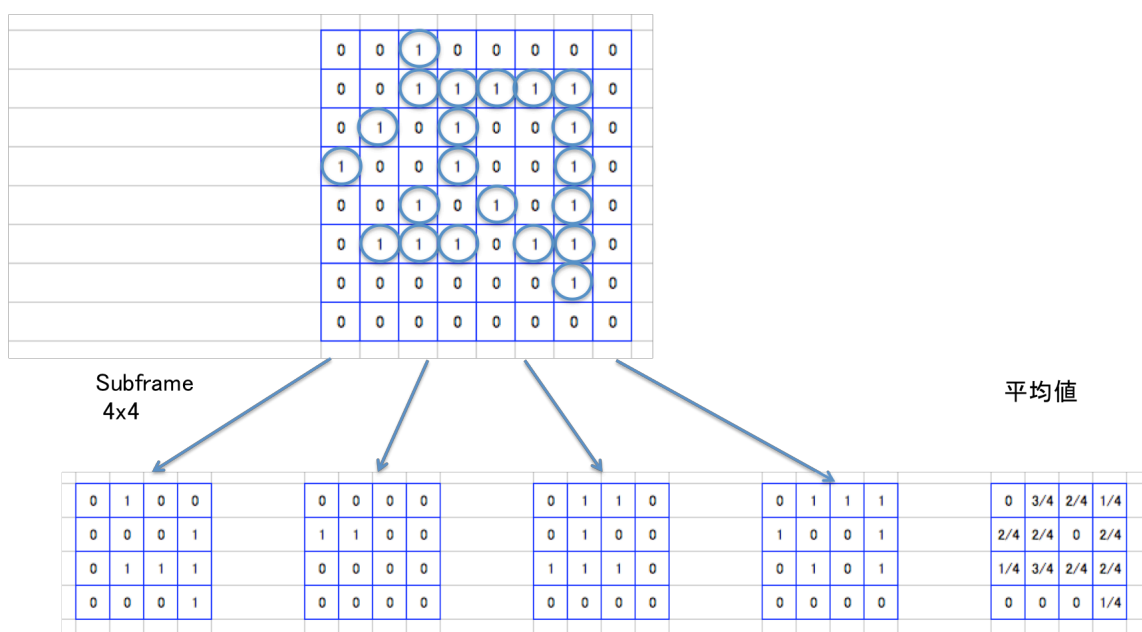


図 3.8 美咲フォント(8×8)ドットの subframe 展開と平均値

8×8 ドットのエデータでもそれっぽく読める程度の少ない画素数であるが, 図 3.7 subframe 0,1,2,3 は, どれも文字としては認識できない. また平均値画像も同様である. ところが, subframe0, subframe1, subframe2, subframe3 をある frame 数(15fps ~ 120fps)で表示すると, 漢字として認識できた. 4×4 とか 5×5 ドットといった少ないドット数では通常, 漢字を表現できるとは思えないが, その表示画素数で漢字を読み取ることができたので驚いた. ヒトの視覚システムに何かあると思わせた瞬間であった.

固定カメラで撮影すると, 上記の表示と平均値表示 $x = (x_{1,1} + x_{1,2} + x_{2,2} + x_{2,1}) / 4$ は,

ほぼ同一の写真結果となる。

ところが、ヒトの視覚システムでは、超解像表示となる。詳細については、第6章で説明する。

3.4 残像効果を用いた表示の色混ざり

表示プレーンまたはデータプレーンを一定方向に移動させた表示の色混ざりについて考える。

3.4.1 表示プレーンを移動する場合のRGB色合成

Time Slit, Round Slit 等では、縦に配列されたRGBの表示画素列が、その裏側にあるデータプレーン上の画素に対して、対応する色の表示画素に対応する色の成分のみを表示する。

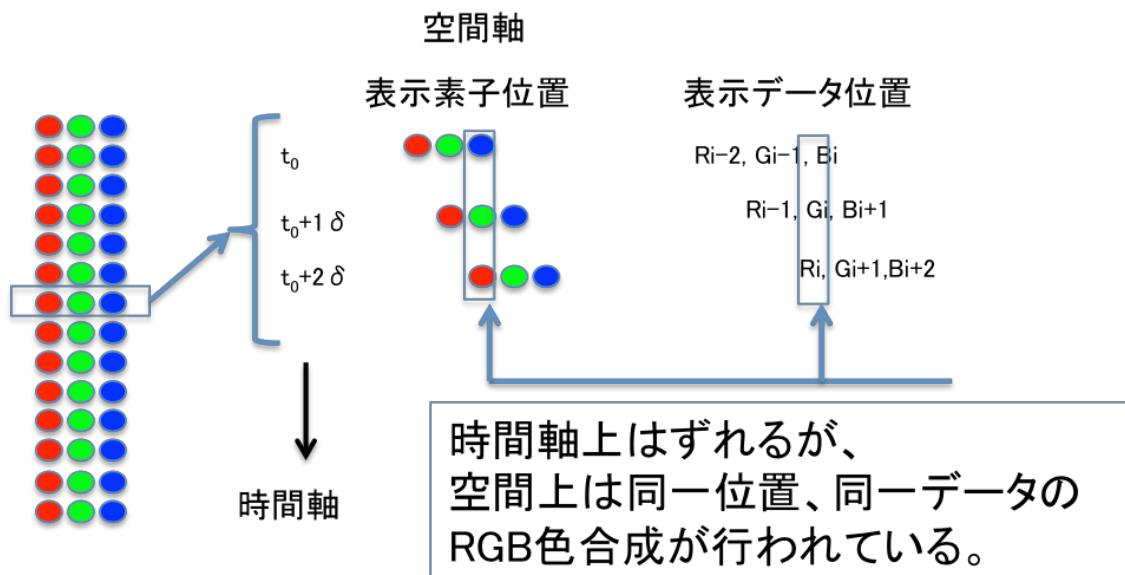


図 3.9 RGB 表示素子が移動して色混ざりする場合の時間軸とデータの関係

図 3.9 に示すように、時間軸上はずれるが空間的には同一の位置で同一のデータのRGB画素が点灯して色合成が行われている。

3.4.1 表示プレーンを移動する場合のRGB色合成

PoleVision のようにデータプレーンが移動して色合成が行われている表示方式の場合を考える。

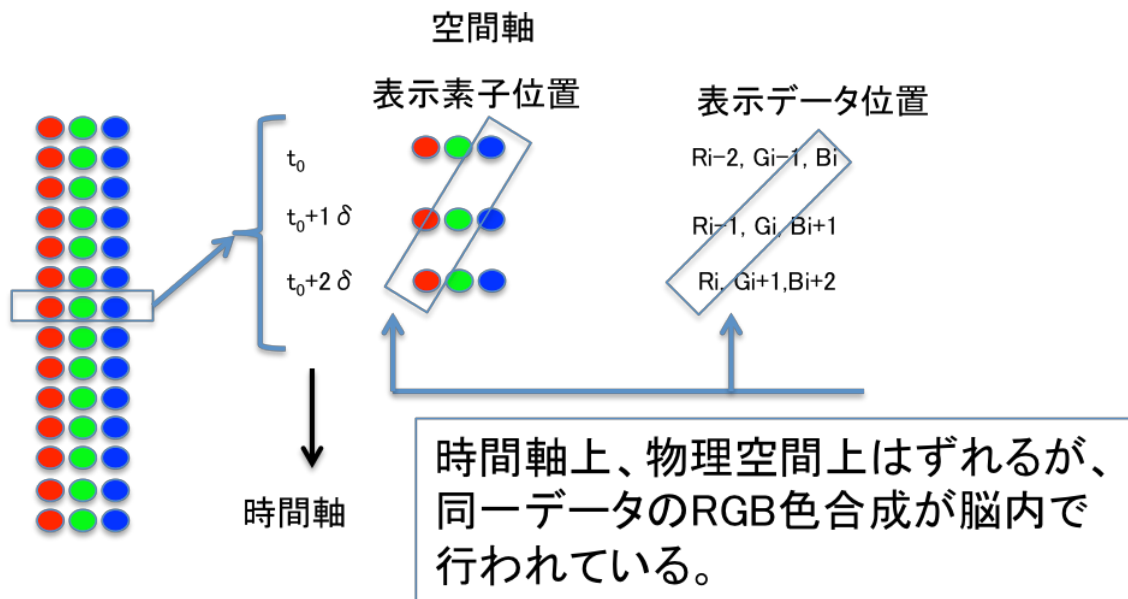


図 3.10 RGB 素子列が固定，データプレーンが移動する場合の時間軸とデータの関係

データプレーンが移動する場合の色混ざりでは，図 3.9 のように物理空間での位置はずれるが，ヒトの視覚システムにおけるヒトの仮想空間ではスクロール表示として画像全体が一定方向に動いているので，同一画素の各 RGB 色成分は仮想空間上は同一の位置で点灯しているため，正しく RGB 色合成が行われる[51].

つまり，物理空間では位置が固定された RGB 発光素子が画像データに応じて同一の位置で点滅を繰り返しているだけであるが，ヒトの視覚システムにおいてはスクロールしたデータプレーンが見えており，そのスクロール位置で RGB 色合成が行われていることになる。

第 4 章

相対移動システム Time Slit の実用化

4.0 Abstract

地下鉄の窓を映像空間にして通勤通学を楽しいものにする。そんな夢物語からスタートした相対移動表示システム Time Slit は、今や世界中に設置箇所を拡大し移動空間メディアという新しい産業を構築中である。

4.1 はじめに

地下鉄に何故窓があるのか。地下鉄の車両に窓があっても、トンネルのコンクリートの壁や配管、配線しか見えない。窓があるなら、今の技術を使えば仮想的な地上の景色、映像を用いた案内そして広告も表示した方が通勤通学の際に快適に移動空間を過ごすことができるのではないかと考えた。ただ普通にトンネルの壁面にポスター等を貼っても高速で移動する車内から視認距離の短い壁面のポスターは映像としては流れていってしまい乗客には見ることはできない。この「流れていってしまい見えない現象」を逆手にとって、壁面に固定した表示機で映像空間を作ることができるのではないかと、という発想に結びついた。

トンネル壁面に固定された表示システムと移動体に乗って移動している乗客との相互作用によって映像が成り立つシステムであることから、移動体の速度検出、移動体の位置検出が重要となる。通常の表示システムのように表示機単独で完結しないための難しさはあるが、これらの技術は近年の自動運転等にも展開可能な技術でもある。

構成要素としては、

1. 速度検出のための技術（車両の移動速度検出）：センサー
2. 速度検出のための技術：ソフト PLL
3. 加速度検出と速度変化予測

を用いた。

4.1.1 先行技術 1: センサー技術

1988 年当時、既に測距式の赤外線センサーや速度自動取締機に使用されていた超音波式速度センサー等は製品化されていた。使用可能な方式としては次のものが上げら

れる。

1. 超音波センサー
2. 測距式赤外線センサー
3. 反射式赤外線センサー
4. 反射式レーザーセンサー

超音波センサーを用いた速度検知は、ドップラー効果を用いて移動車両のスピードを検知するシステムであるが、検出システムがトンネル壁面に設置するには大型で高価であった。また今回使用するのが速度データだけでなく、位置情報も必要な為、超音波センサーだけでなく他のセンサーも併用する必要がある。

反射式赤外線センサー及び反射式レーザーセンサーは、反射板と発光部の間の光を移動体が遮ることにより、移動体のトリガー状態を得る方式であるが、反射板の位置調整及び反射板表面のメンテナンスが必要となる。電車の速度は 60-120km/h と意外と早く風圧も高い為、位置調整機能を持たせて長期の安定性を保つのは容易ではなかった。

この為、名古屋デザイン博覧会（1989 年）の会場外施設として名古屋市営地下鉄沿線に設置した実証実験を行い、3ヶ月の博覧会開催期間中のデータを元に、測距式赤外線センサーを採用した。

4.1.2 先行技術 2： 地下鉄には何故窓があるのか？

市街に鉄道を通す為の地下鉄のアイデアは、1834 年に開通したテムズトンネルをヒントにしたものだという。地下鉄の歴史は 19 世紀のイギリスのロンドンから始まった。1863 年 1 月 10 日にメトロポリタン鉄道のパディントン駅からファリンドン駅の間、約 6km が開通した(現在のサークル線の一部)。当時のイギリスは鉄道の建設が盛んであったが、ロンドン市内は建物が密集しており地上に鉄道を建設できなかったためである。この路線を計画したのはロンドンの法務官であるチャールズ・ピアソンで、1834 年に開通したテムズトンネルをヒントにしたとされる。車両は開業当初から 1905 年に電化されるまでは蒸気機関車を使用していた。硫黄を含む煙が発生するため、駅構内は密閉された地下空間ではなく換気性を確保した吹き抜け構造となっていたほか、路線の一部も掘割であった。

1987 年に自宅でアイデア会議を開いている際に、後の AVIX 社 CTO 矢島弘史氏が、「初期の地下鉄の車両は窓が無い設計だったが、乗客に圧迫感がある為、トンネルの壁しか見えないが窓をつけたらいい。」という説を披露した。上記引用説の全面トンネルではなく通常路線との併用から生まれた歴史的な流れから窓付車両を用いていたのか、

あるいは矢島説が正しいのかは定かではない。いずれにしても地下鉄の車両には窓があり、トンネルの壁面や通信用 LCX ケーブルや配管等しか見えない。

この地下鉄の窓をもっと有効活用して、通勤通学の移動空間を快適にすることができるのではないかと考えたことが Time Slit を開発するきっかけとなった。

4.2 相対移動表示システム(TimeSlit)の制御方式

相対移動表示システム(TimeSlit)の制御方式について述べる。Time Slit のトンネル内のシステムは次のような構成となる。(図 4.1 概略 block 図)

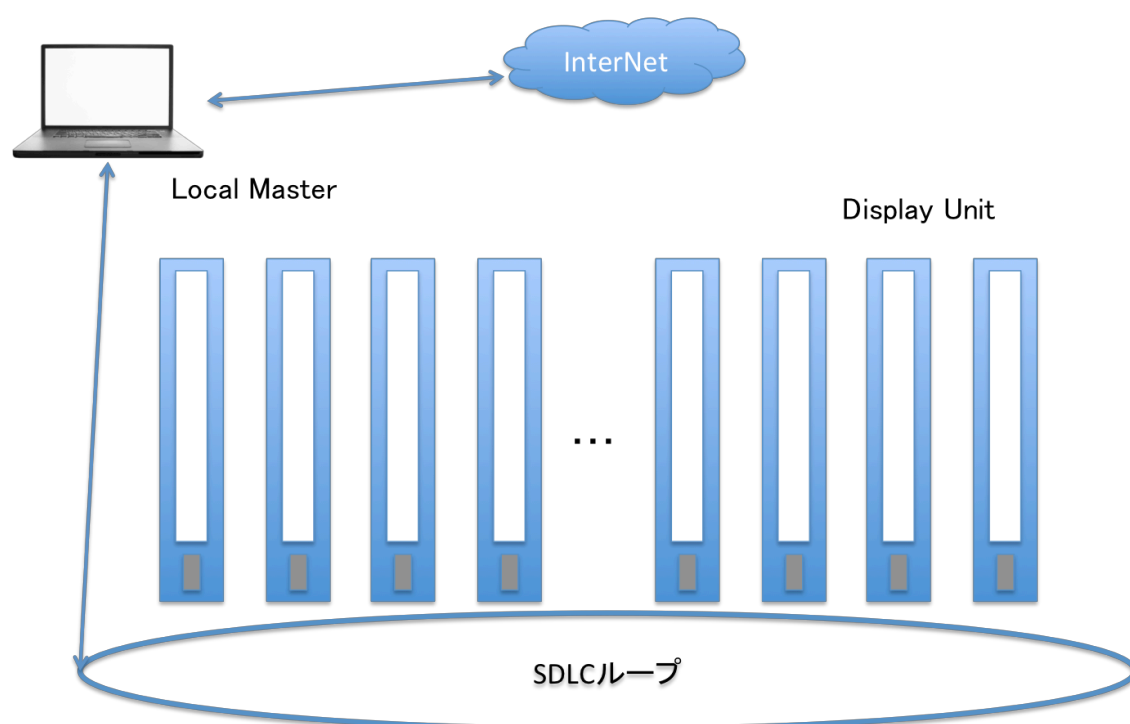


図 4.1 Time Slit の概略 block 図

当初はインターネットという便利なネットワーク環境はなかったので、映像コンテンツのトンネル内へのデータ通信やコントロールソフトのバージョンアップ、通過車両毎に正しく表示されているかといったデータ等、トンネル外へのやりとりは電話回線を用いたモデム通信から始めた。データ通信方式は ADSL、ISDN と進化し遂には光ファイバーによる高速通信によりインターネットに接続した。初期の Display Unit 間通信は IBM の開発した SDLC ループによる通信方式を用いた。一部が断線しても戻りルートで暫定通信することができたので、簡単にメンテナンスに行くことができないトンネル内の通信方式としては優れていた。トンネル内は列車の運行時間帯は通常入

坑することができない、何らかの要因で断線したとしてもこの通信方式であれば緊急対応が可能である。また列車運行によるノイズにより通信データが化けることに対して、冗長度の高いデータ構造により **ERROR** 訂正を行い耐ノイズ性を高めた通信方式を用いた。

4.2.1 制御技術

4.2.1.1 速度センサー

先行技術で述べたように、生産ライン等で用いている測距式赤外線センサーを車両検出用の端点検知センサーとして用い、エッジ検出したトリガー信号をソフト PLL によりラインスキャン用ベースクロックを作成した。ソフト PLL 方式としたのは、トンネル内に設置された各ディスプレイユニットにそれぞれ測距式赤外線センサーが具備されているが、一部のセンサーに調整ミスやガラス面の汚れにより検出ミスが起きた場合、その検出ミスデータを特異点として除去するためである。

Display Unit それぞれに測距式の赤外線センサーを装備して、列車のエッジを検出し各 **Display** から出てくるトリガー信号を **Local Master** と呼ぶ PC に通信して、トリガー信号から移動体の速度、加速度を検出し、その先の速度及び移動位置を予測しながら、表示スキャンタイミングを変化させることにより、電車の通過速度に応じた表示スキャンを実現し、安定した映像を乗客に提供した。

現在、世界展開している **AdTrackMedia** 社の **TimeSlit** では、車両エッジではなく、車輪部分のエッジを使用してトリガー信号を検出している。これは車両表面は鉄道会社のデザインにより表面での赤外線反射率が大きく異なることが運用経験上理解していたためである。

4.3 TimeSlit 事業展開

Time Slit の実証実験も終了し事業展開をする際に、三井物産の担当課長がこの事業は **Time Slit** 設備の保有機構を作り、日本各地、世界各地に移動空間メディアとして展開すべきである。これを実現するにはひとつのベンチャー企業が設備機器を負担しているのでは世界展開は無理である。との説を展開した。彼と一緒に三井物産の代表取締役副社長に掛け合いに行ったが三井物産としての本格的な事業取り組みは実現できなかった。今であればクラウドファンディングを始め、各種の選択肢があっただろうが、当時の日本での選択肢は少なく、それ以上のアイデアは思いつかなかった。首都圏の地下鉄への展開はできず、成田空港、羽田空港、千歳空港の空港アクセス路線への展開に止まった。

現在、世界展開している AdTrackMedia 社は北米 Canada の会社で、Co-Founder の Drew Craig は TV 放送局の役員でもありメディアとしての展開に長けた人材である。

4.3.1 初期の TimeSlit RG モデル

初期の Time Slit は、高輝度青色 LED が開発されていなかった為、RG モデルからスタートして、

1989 年 名古屋デザイン博覧会 会場外施設として開催期間 3 ヶ月間の実証実験

1990 年 青函トンネル開通 1 周年記念事業 JR 北海道青函トンネル

1992 年 成田エクスプレス N'EX 成田空港駅、堀内トンネル 成田高速鉄道

1993 年 羽田空港トンネル 東京モノレール

1994 年 千歳空港駅 JR 北海道

と展開した。



図 4.2 タイムスリット成田空港： 初期の RG モデル

1993 年 11 月、日亜化学工業が超高輝度青色 LED の製品化に成功した。更に翌年 1994 年純緑色 LED の製品化に日亜化学工業が成功した。これでフルカラー LED ディスプレイを開発するための LED デバイスが揃った。

ところが、残像表示システムの研究者であると同時にベンチャー企業 AVIX 社の代表取締役社長であった私は、1995 年 Digital Signage 事業の展開に会社の舵を大きく切り、

Pole Vision, Cyber Vision の研究開発及び事業展開に会社のリソースを振り分け、Time Slit は運用及びメンテナンスを継続するにとどめ、フルカラーTime Slit の開発及び事業化は積極的に行わなかった。

4.3.2 TimeSlit フルカラーモデル 仙台地下鉄実証実験

1999 年に渋谷 Qfront でフルカラーLED システムの CyberVision をデビューさせ、その際に開発した LED ドライバーその他の技術を用いて、TOYOTA ディーラーの看板の電子化 IT-board の展開により、本格的に Digital Signage 事業の展開を始めた。

また、JR 東海中央研究所と進めていた鉄道事業における LED 照明の共同研究事業から端を発し、JR 東海道新幹線の東京駅から新大阪駅のホーム発車標、乗車口案内事業を受注したことにより、再度鉄道事業者との取り組み機会が増えた。

この為、社内外からフルカラーTime Slit の実証実験をやりたいとの多くの声が出た為、当時の CTO 兼副社長 大石昌俊をリーダーとするフルカラーTime Slit 研究開発チームを立ち上げ、仙台地下鉄での実証実験を進めた。



図 4.3 TS 仙台地下鉄：フルカラーモデル

一方、この頃になると車両内に液晶ディスプレイを設備した車両等が山手線に実験走行するようになっていた。Time Slit 事業をスタートした当初は、車両に設備するよりも地下鉄のトンネル内に設備する方が設備費用も少なく導入障壁も小さいというコンセプトで Time Slit を展開してきたが、既にその役割は終わったと判断した。また鉄道のフルカラー・ホーム案内盤や一般の Digital Signage 事業が急速に立ち上がって来たので、そちらに経営資源を振り向けることにし、仙台地下鉄のフルカラーTime Slit の展開に関しては、実証実験終了と共に終了した。

4.3.3 AdTrackMedia

2013年にCanadaのAdTrackMedia社（当時はDigital Underground Media社）のFounder Ken BicknelからFacebookを通して、米国のTime Slit基本特許の発明者=Toyotaro Tokimotoはあなたですか？との問い合わせがあった。それをきっかけに、2014年1月のCanadaバンクーバーでのDUM社のキックオフミーティングに参加し、DUMの最高技術顧問に就任し、世界展開するAdTrackMediaのフルカラーTime Slitの基本技術を指導した。また新規のTime Slit特許もDUMを通じて出願し、ブラジルを皮切りに、韓国、スペインの地下鉄に新規設置を行なった。AdTrackMedia社のCo-Founder, Drew Craigは北米放送局の役員であり、放送業界、メディア業界に精通しているとともにテレビCMクライアントとの交流も多かった。AdTrackMediaのフルカラーTime Slitを用いた世界メディア事業において大きく貢献した。

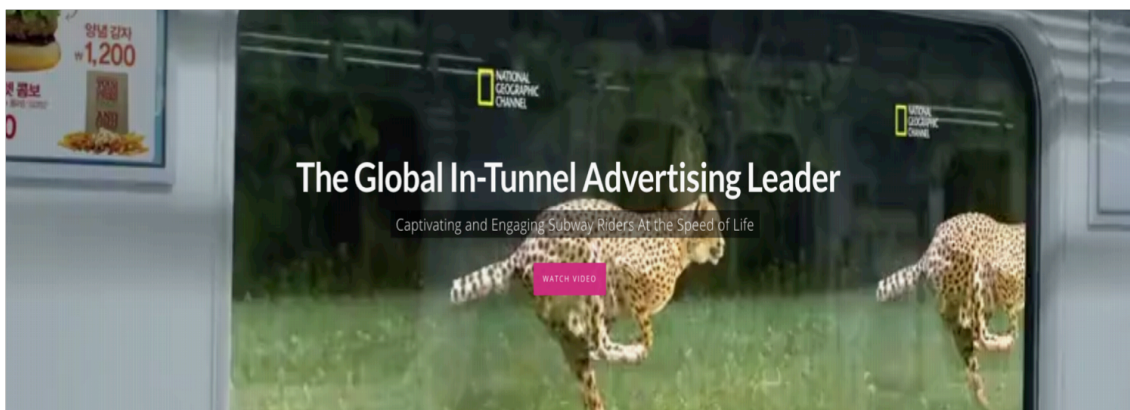


図 4.4 AdTrackMedia スペイン・マドリッド地下鉄：フルカラーTime Slit

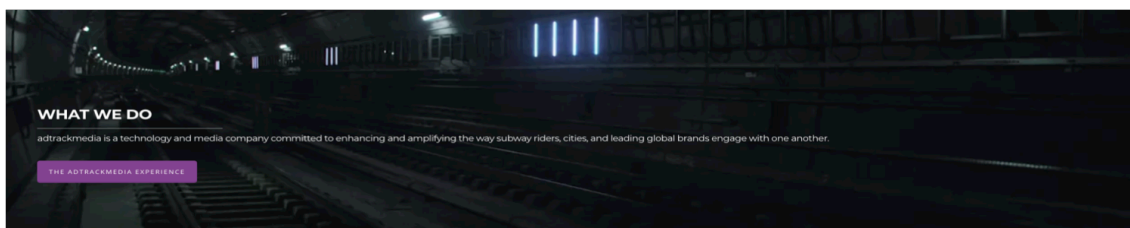


図 4.5 Time Slit トンネル設置写真 マドリッド地下鉄

AdTrackMediaが世界展開するにあたり、[特許 List23-32]とは別に新規にTimeSlit特許[特許 List33]をブラジルで出願した。

4.4 おわりに

Time Slit で開発した移動体検出センサー技術や速度、加速度検出及び表示制御技術は、近年の自動車の自動運転技術やロボットの視覚システムにも一部応用可能な技術である。その意味で、先行してそれらの技術開発を推進して来たことは有意義であったと考えている。移動空間におけるメディア化事業に対しては、AdTrackMedia 社、更には AVIX 社の後進スタッフの働きに期待したい。

第5章

超高速表示システム

5.0 Abstract

第2章ホールド補間を用いて、世界最速の超高速 LED 表示システム 3,420frame/sec, 4,320frame/sec を開発した。技術的には非線形クロックでガンマ逆補正できる低電流ドライバーを新規開発し、非線形クロックを用いてガンマ逆補正と階調表現を同時に行う構成にしたことがキーテクノロジーとなる。

更に、この技術を用いて可変フレームレート高速実験システムを開発した。1～960fps の任意のフレームレートで表示できる機能を用いて、ヒトの視覚システムの各種の実験を行うことができる。

5.1 はじめに

5.1.1 背景と目的

従来のブラウン管 TV では、30frame/sec, インターレース方式で 60field/sec の表示方式が標準であった。液晶 TV では 60frame/sec から始まり、中間データを作成して 240frame/sec の表示をするのが液晶の応答スピードの限界だったが、LED 表示機では 960frame/sec, 更にそれ以上の frame 周波数でのスタティック駆動表示が可能である。近年、スポーツ中継などでスーパー・スローカメラ (180,300,1000frame/sec) が導入され、バッターがボールを打つ瞬間やサッカー中継でのゴールの瞬間の選手の表情などをスーパー・スロー表示で臨場感溢れる演出がされるようになってきた。一方その背景映像としてスタジアムやアリーナにおいて多用されている広告用 LED 表示機の表示スピードが従来のままでは、広告表示中のスポンサーロゴや商品がラインスキャンの筋状になったり、半分かけた表示になってしまう状況が発生した。スポンサー収入にて運営を行なっている民放 TV 局からの要請でスーパー・スローカメラに対応できる表示方式が求められ、3,420frame/sec, 4,320frame/sec のスタティック超高速 LED 表示システムを開発した。

ここでいうスタティック LED 表示は、通常各社が行なっている LED 表示機がラインスキャン方式の表示方式であるのに対して、1フレームが同一タイミングで表示開始する表示方式を指す。但し、PWM 方式による階調表現を用いているので、各フレー

ム間で LED 素子が点灯し続けている訳ではない。

5.2 時空間符号化とホールド補間族

第2章 2.3 節において時空間符号化とホールド補間族について考察した。この章では 60fps の TV 信号における 2 次元の空間 frame をホールド補間して frame 周波数を高速化する技術開発を行なった。

5.3 超高速デジタル表示システム

第4章の初めに述べたように、TV 局からの要請でスーパー・スローカメラに対応できる表示方式が求められ、3,420frame/sec、4,320frame/sec の LED 表示システムを開発した[95,96]。通常の TV 信号は 60fps（以前は 30fps）で伝送されてくるので、その frame をホールド補間で繰り返し表示出力する。3,420fps システムは最大 57 回繰り返し表示（ホールド補間表示）することができ、4,320fps システムは最大 72 回繰り返し表示（ホールド補間表示）することが可能である。副産物として、コンピューターにより再生される映像ファイル（1 画面に 16 面付け）を LED 表示システムの VP (Video Processor) 部で 16frame に展開し、60~960fps でリアルタイム再生できる表示システムを開発した。これは VP 部のメモリー内に蓄積した画像ファイルを 1~960fps（非整数表示可能、ホールド補間数（=整数）で規定）で再生することも可能とし、視覚システムの実験用システムとして活用されている。

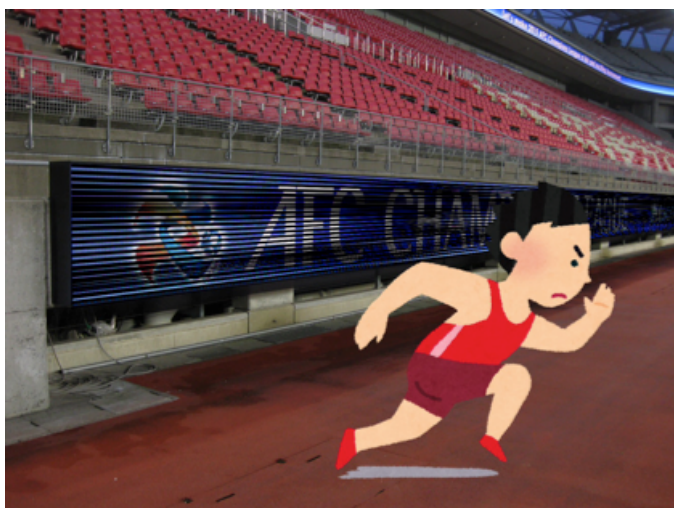


図 5.1 Missing line problem in sports game shot with a SSC. 背景の LED 表示機が一般的なラインスキャン方式のコントロールの為、ライン抜けが発生している。

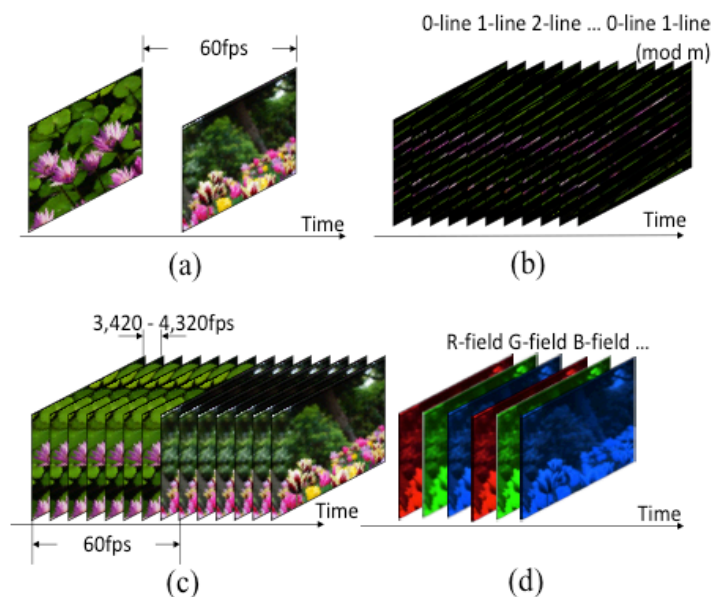


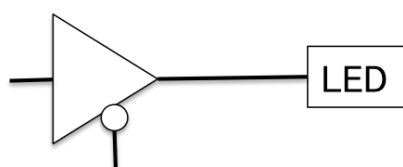
図 5.2 ホールド補間表示による高速表示概念図

(a) 通常表示 60fps, (b) ダイナミック line スキャン方式表示, (c)スタティック・ホールド補間表示方式, (d) カラーダイナミック表示方式

5.3.1 LED 駆動方式； 定電流駆動

LED は、直流電流を流すことにより発光するが、電流値に対しての発光輝度がリニアではない(図 4.11). このため、定電流ドライバー (図 4.9) を用いて PWM 方式 (図 4.10) で輝度コントロールする方法が一般的である. 今回の方式も定電流ドライバーを用いた駆動方式である.

定電流ドライバー



PWMで制御

図 5.3 定電流ドライバーによる LED 駆動概念図

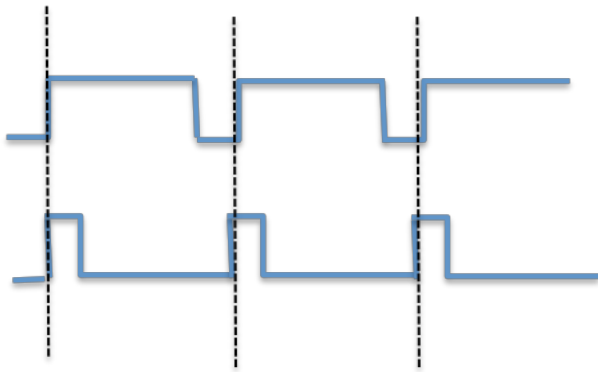


図 5.4 PWM 駆動の駆動イメージ波形

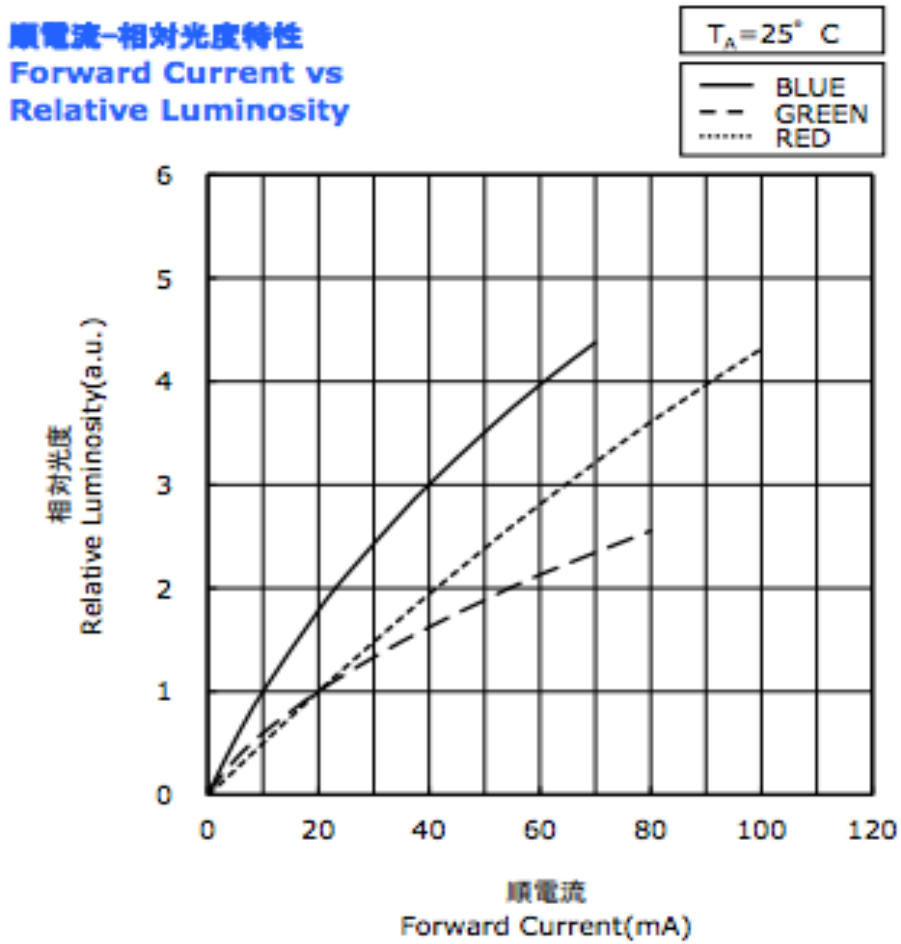


図 5.5 電流/光度特性： 日亜化学製 NESM180AT

5.3.2 LED 駆動方式：ガンマ逆補正

今回、ガンマ逆補正方式の実現に計算精度と高速応答性に優れた非線形クロック方式を用いた。まず LED 表示におけるガンマ逆補正の必要性について述べる。

5.3.2.1 ガンマ補正

撮像管、ブラウン管の時代に規格制定された現在の TV 方式では、ブラウン管 (CRT) のガンマ特性に合わせた信号伝送方式で規格統一されている。一方で、液晶表示機、LED 表示機では、ガンマ特性は弱いかほぼリニアとなっているため、受信した信号をガンマ逆補正して表示する必要がある。単純マトリクス型の液晶ディスプレイでは、 $\gamma = 1.1 \sim 1.3$ 。LED 表示機では $\gamma = 1.0$ である。

一般的な CRT のガンマ特性は $\gamma = 2.2$ である。撮像管の出力はほぼこの γ 補正された状態が出てくるので、撮像管と CRT の組み合わせの場合はこの規格で良かったのだが、カメラ側も CCD センサーや MOS センサー、表示側も液晶ディスプレイ (LCD)、LED ディスプレイ、EL ディスプレイ等ガンマ特性の異なる部品が開発されて市場に出てきたため、入力、出力双方で γ 補正、 γ 逆補正の必要性が出たのである。

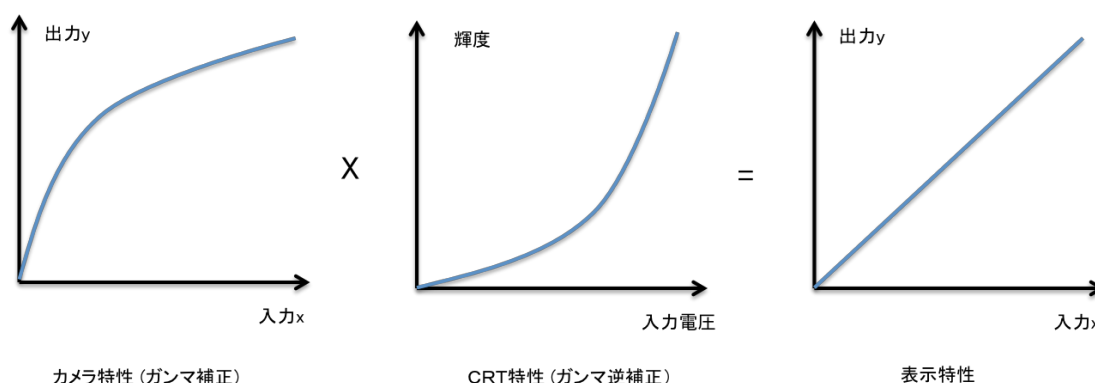


図 5.6 ガンマ補正と逆補正の入出力特性

$y = x^{\frac{1}{2.2}}$	$z = y^{2.2}$	$z = \left(x^{\frac{1}{2.2}}\right)^{2.2} = x$
(a)	(b)	(c)

図 5.7 ガンマ補正と逆補正の数式

(a) ガンマ補正の数式、撮像管式カメラの特性、(b) ガンマ逆補正の数式、標準的 CRT 特性、(c) ガンマ補正されたデータにガンマ逆補正した場合の表示特性

5.3.3 高速表示用 LED ドライバーの開発

入力した 60frame/sec のデータ信号を繰り返し表示することで、第 5 章の 2 次元ホールド補間方式で超高速 LED 表示を実現した。3,420frame/sec では 57frame、4,320frame/sec では 72frame 同一表示している。また PWM 階調表示とガンマ逆補正を同時に行う方式として、非線形クロックを用いた非線形 PWM 階調方式を開発した。更に、通信系統の配線数を減らす為、シリアル通信機能と同一 frame データをホールドしておく機能を LED ドライバーに持たせることにより高速表示と薄型軽量の LED モジュールの開発を実現することができた。

5.3.3.1 LED ドライバー

LED ドライバーは図 4.14 概略 block 図に示す構成となる。GSck に非線形クロックを入れることにより階調コントロールとガンマ逆補正を同時に行う構造となっている。

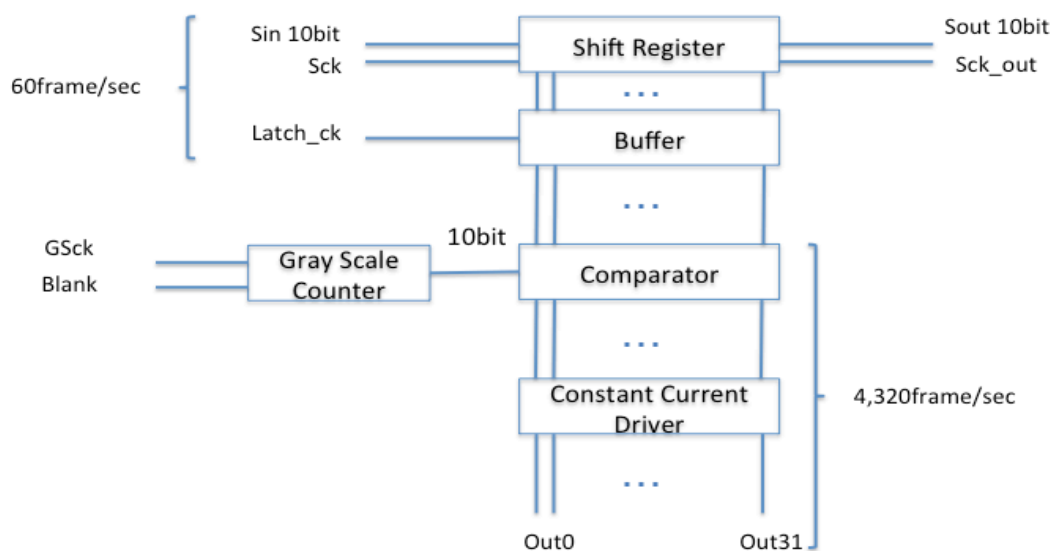


図 5.8 LED ドライバー概略 block 図

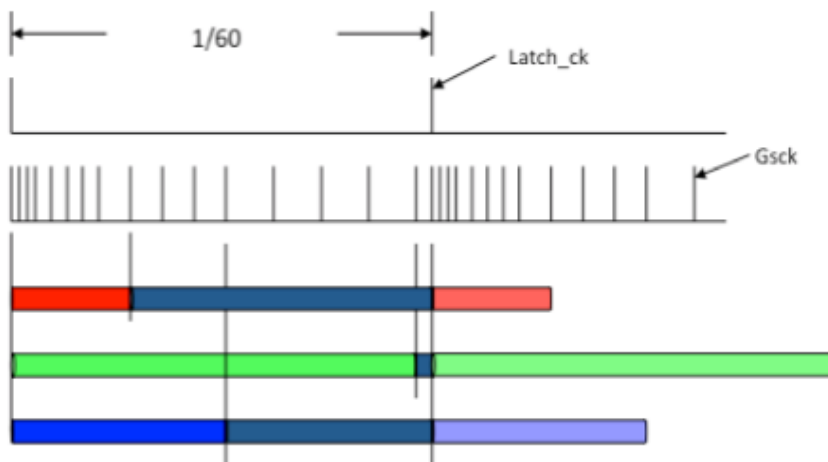


図 5.9 非線形クロックによる PWM 制御

この非線形クロックによる PWM 制御で少ない bit 数で bit 落ちの少ないコントロールが可能となる。(図 5.10, 図 5.11)

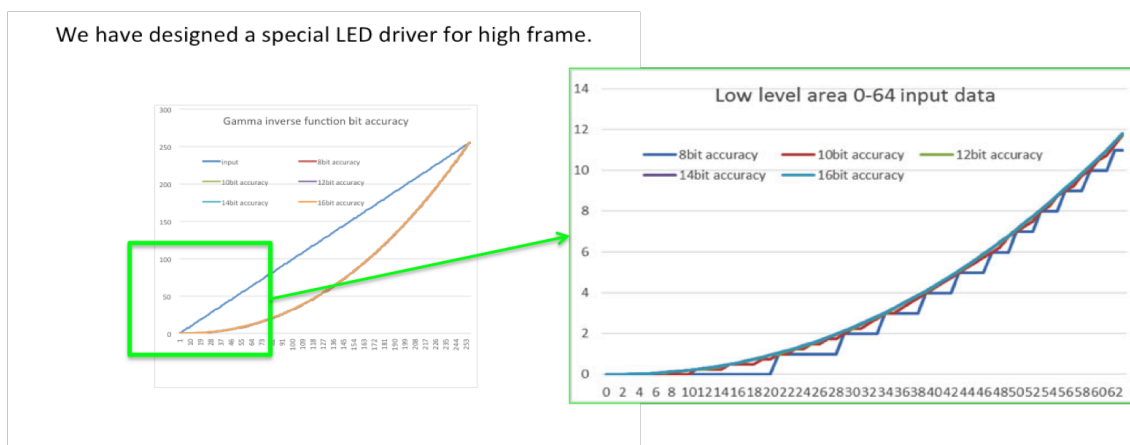


図 5.10 ガンマ逆補正精度

TABLE I
ACCURACY AND DEGENERACY IN INVERSE GAMMA CORRECTION.

Accuracy	Degeneracy 0 - 255	Degeneracy 0 - 63	Value
8 bits	-74 value	-52 value	182 value
10 bits	-23 value	-23 value	233 value
12 bits	-8 value	-8 value	248 value
14 bits	-3 value	-3 value	253 value
16 bits	-1 value	-1 value	255 value

図 5.11 演算 bit 数による bit 落ち表

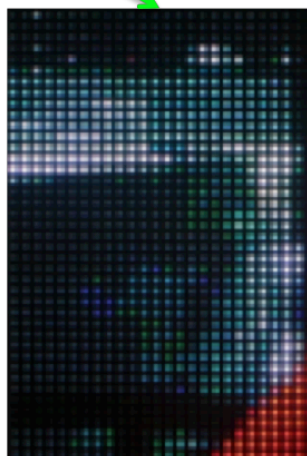
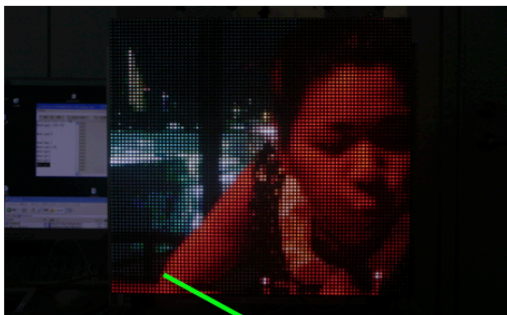
5.3.4 超高速表示システムにおける表示

通常表示(120-240fps)の場合は、16bit 精度での非線形ガンマ逆補正を行なっているが、今回の高速表示では 14bit 精度での非線形ガンマ逆補正を行なっている。1frame の表示時間が 231.5nsec (4,320fps の場合) しかない為、ドライバーの性能上 14bit 精度としているが、動作スピードの高い LED ドライバーを開発すれば 16bit 精度での応答も可能となる。14bit 精度では図 4.17 の表のように低輝度エリアで 3 値の bit 落ちが発生する。

5.3.4.1 ガンマ逆補正の精度による画質評価

ガンマ逆補正 8bit 精度と 14bit 精度の際の画質評価を示す。実際に 8bit 精度では輝度の低域で擬似輪郭等の画像品質の劣化が認められる。14bit 精度では実用範囲内と考えている。

8bit精度ガンマ逆補正



14bit精度ガンマ逆補正

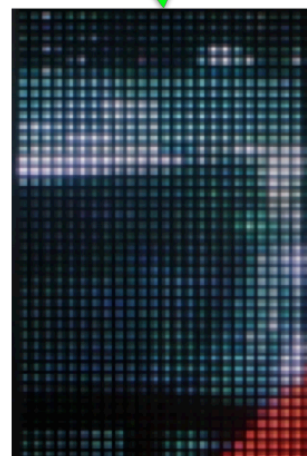
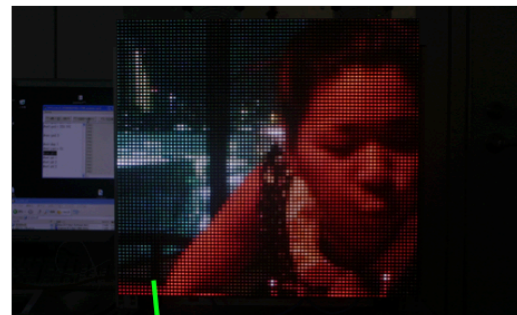


図 5.12 ガンマ逆補正 8bit 精度, 14bit 精度

5.4 可変フレームレート高速表示実験システム

超高速表示システムの開発をしていた際の 2010 年頃から NTT 基礎研の西田先生、徳島大学の山本先生から視覚システム研究用の実験装置開発の依頼があった。CVx300 ベース (LED 画素ピッチ 30mm, RGB 素子分散配置) の高速表示実験システムについては、山本先生の論文[97,98]を参照して頂き、今回次章第 6 章の超解像実験に用いた CVx700 ベース (LED 画素ピッチ 6mm, RGB3in1 素子) の高速表示実験システムについて述べる。1~960fps の任意のフレームレートで各フレームをスタティック表示できる高速表示実験システムを開発した。概略 block 図は図 5.19 に示す通りである。

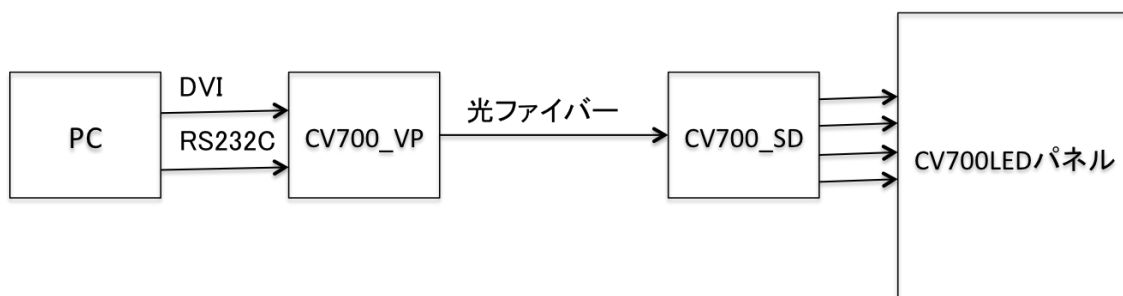


図 5.13 概略ブロック図：スタティック可変 frame rate 高速表示実験システム

本高速表示実験システムは、

- 1) リアルモード： PC から DVI 出力される画像データ 60fps を Video Processor CV700VP で 960fps に分解処理して表示モジュールに送信する。
- 2) メモリーモード： CV700VP のメモリー内に記録した画像データを 960fps で表示する。

の 2 種類のモードを実装している。

この実験システムは基本的に 960fps で表示するシステムとなっており、メモリーモード出力の場合は、同一 frame を何回繰り返し出力するかを指定する仕様となっている。例えば、繰り返し数=6frame ならば、 $960/6=16\text{fps}$ となる。繰り返し数は自然数であるが、繰り返し数=7 とすると、 $960/7=136.14\text{fps}$ と整数にはならないことがある。

PC からの映像出力時に、通常非圧縮 avi ファイルの出力アプリケーションでは安定して 60fps で出力されないため、時間安定型動画出力アプリケーションソフトを開発した。60fps での画像記録 frame を図 5.20 に示すように 4x4 の画像で表現し、VP でシリアル分解して安定した 960fps 出力で LED 表示パネルに送る。

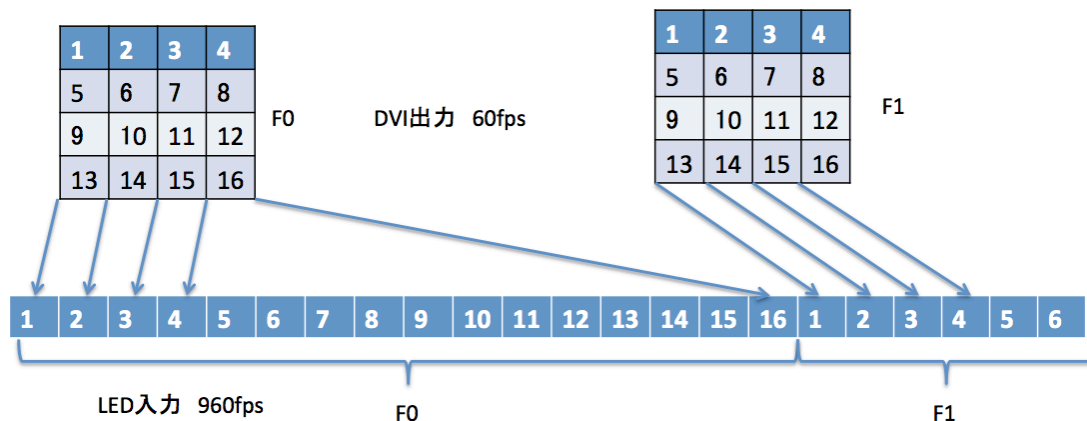


図 5.14 PC から 16 面付けした画像データ 60fps を分解して 960fps 出力する概略図

AVIX 社製スタティック高速可変 frame 表示システム[4]の Spec は次のようになる。

1) システム仕様

最大輝度： 3,000cd/m²

表示階調： 10.7 億色 (RGB 各色 1,024 階調)

指向角： 120° (水平・垂直)

ガンマ逆補正機能： あり／なし選択機能 ($\gamma = 2.2/1.0$)

ガンマ補正精度： 13bit 相当(960Hz)

2) LED パネル仕様：ユニット構成でユニット単位(40x40 ドット)で拡張可能

発光素子： 日亜製 RGB3in1 高輝度 LED 素子

画面寸法：

ドット数： 6400 ドット

ドット間ピッチ： 6mm

使用電源： AC100V (ユニットで AC/DC48V スイッチング電源)

3) Video Processor 仕様

入力 I/F： DVI (SVGA, XGA, SXGA)

コントロール I/F： RS232C

出力 I/F： SC タイプ光

使用電源： AC100V

4) 表示方式

4-1) リアル表示方式モード

VP の DVI 入力(60Hz)から画面上の任意の場所の 320x320dots の範囲の画像データを 80x80dots 単位の block に切り出して、60x16=960fps で表示する。

4-2) メモリー表示方式モード

VP に内蔵される SDRAM に $80 \times 80 \text{dots} \times 960 \text{frame} \times 24 \text{bits}$ の画像データを読み込み, このメモリー内の任意の frame 位置 (f_{start} から f_{end}) の frame データを指定される回数 (n 回) 繰り返しながら 960fps で表示する.

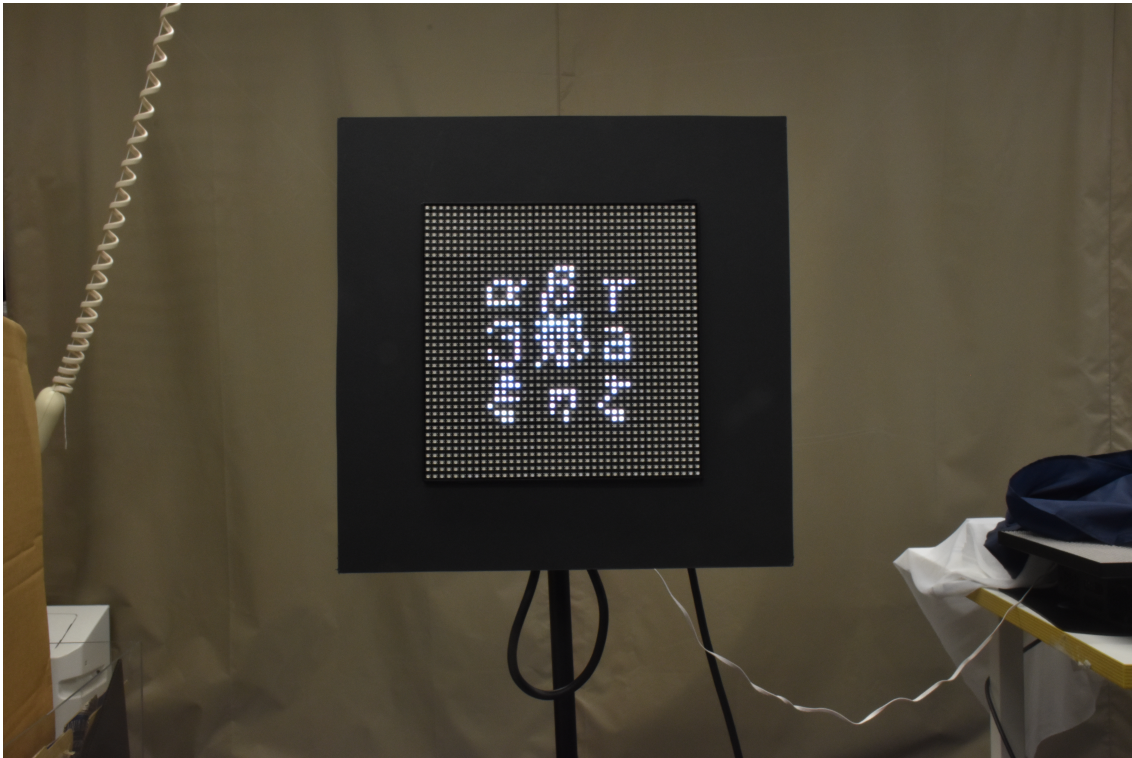


図 5.15 1 モジュール(40x40 ドット)での可変 frame 実験システム表示例

5.5 おわりに

このように開発した超高速 LED 表示システムが各種スポーツライブのシーンで多用され, TV 局側も安心してスーパー・スローカメラを用いて, 臨場感溢れるスポーツ中継が可能となっている. また副産物として開発されたスタティック高速可変 frame 表示実験システムは, 1~960fps の任意の表示 frame rate で表示可能なため, ヒトの視覚システムの実験に活用されている. 実際, 本論文第6章の Cyber Vision 表示における超解像の確認実験でも使用された.

第 6 章

CyberVision 表示方式による超解像と視覚システム

6.0 Abstract

前章で世界最速の超高速 LED 表示システムとこの技術を用いた可変フレームレート高速 LED 表示実験システムを開発した。この実験システムにより時空間変調表示 Cyber Vision による主観的超解像効果を実験で確認した。またこれらの開発の過程において、ヒトの目には何故そのように見えるのかという独自の課題を見出した。実験結果を裏付けるモデルとして、ヒトの視覚システムが時空間符号化された映像を観察時に、一旦ぼかし処理してデータ量を減らした上で、先鋭化処理により抽象的図形として認知する高速認知システムを提案する。視覚認知の解明は本論文の主目的ではないため、本論文においてはモデルの提示にとどめるが、高速映像に対する視覚認識という研究課題があることを実験的理論的に提示できた。

時空間符号化を用いた主観的超解像表示技術 Cyber Vision を提案する。粗い LED パネル上に隣接する画像データをダイナミック (Dynamic) に表示することにより、実ドット数の LED ディスプレイよりもヒトの視覚システムを通して見ると解像度が高く見える。本章 6.1 節では先行研究におけるヒトの視覚システムにおける認知メカニズムを示し、6.2 節で認知メカニズム仮説 1 と仮説 2 を立てた。6.3 節では Cyber Vision 表示方式の Dynamic 表示方法の一例を示した。6.4 節では Cyber Vision 表示方式における超解像の確認実験を行った。6.5 節で、仮説 1 に基づく高速認知システムを提案する。また仮説 2 に基づく主観的文字超解像のシミュレーション結果を記し、6.6 節で今後の研究課題を提示する。

6.1 はじめに

Cyber Vision 表示方式[53-56]で主観的解像度が上がることは、開発者及び開発者がこの表示システムをデモンストレーションすることにより関連業界では経験上知られていた。ただ、どのような条件下で解像度が上がると感じるのか、またその認知メカニズムはどのようなものなのかは分かっていなかった。同様の方式で、RGB の画素の読みかえで解像度を上げる方法は知られている[57,58]。この方式では物理的な仮想画素の位置もずれるので分かりやすいが、前者の方式では物理的な発光素子の位置は変化しないため、何故主観的解像度が上がって見えるのか、理論付けができていなかった。

今回 6.4 節で、主観的解像度が上がって感じられることを実験的に確かめた。その下で 6.2 節において、Cyber Vision 表示方式の超解像認知メカニズムに関する仮説を述べる。更に 6.5 節で、仮説 1 に基づく高速認知システムを提案する。また仮説 2 に基づく文字超解像のシミュレーション案を提示する。

6.1.1 先行研究 1

6.1.1.1 移動状態における blurred images と Motion Sharpening

S.T.Hammitt は、論文[59] の Introduction において、移動状態においてぼやけた画像 (blurred images) がアナログ静止画よりも鮮明に見える Motion Sharpening 現象 [60,61]を紹介している。視覚システムは日中の約 120msec の情報を統合するが [62,63]、視覚システムの応答は瞬間的でないので、画像の動きはカメラのような動きぼけ (motion blur) をもたらし、従って静止画と比較して位置の不確実性が增大するはずである。動く物体のぼけやスミア(smear)は視覚系の積分時間に基づいて予想されるものよりも小さい [64]。また滑らかな動きの場合、視覚系の時間的特性から予測される空間的ぼけが現れない [64]。実際、PoleVisoin 表示方式における直線的なスクロール表示の場合ぼけは発生せず、文字列は移動しているにも関わらず画像はクリアに見える [31,32,33]。

6.1.1.2 錯視における blur と skeleton

杉原幸吉は、矢印の錯視 (Muller-Lyer illusion)[66]が発生するメカニズムを dislocation of skeletons due to image blurring で説明するモデルを示した [65]。つまり、矢印図形を一旦ぼかして(blur)、そのぼかし図形を 2 値化した後、その境界点に対して Voronoi diagram [67,68]を算出して skeleton 図を得る。このようにして得られた skeleton の内部の矢印は長さが違って見えることを説明して、錯視のメカニズムを示した。この錯視のメカニズムの説明は、Hammitt らの Blur & Sharpening の処理メカニズムが動画像の処理だけでなく、静止画の処理においてもヒトの視覚システムの中で日常的に行われていることを示唆する。

6.1.2 先行研究 2： 予測符号化と錯視

渡辺らは論文[69]、 “Illusory Motion Reproduced by DNN Trained for Prediction” において、手振れの多いビデオ映像で DNNs のシステムを学習させ、回転蛇の錯視を DNNs のコンピューター・システム上で再現することに成功した。

実際、予測符号化理論(Predictive Coding Theory)は、いくつかの運動錯視を含む一

般的錯視を生成する理論的メカニズムであることが示唆されている[72,74,75,76,78].

6.1.2.1 予測符号化理論と DNNs

渡辺らは論文[69]の Introduction において, Rao らの予測符号化理論[70,71,72]と PredNet[73]と呼ばれる DNN を次のように紹介している ;

「PredNet と呼ばれる DNN は、大脳皮質の視覚系の情報処理機構を網羅的に説明できる最も影響力のある仮説の 1 つである予測符号化理論[70]に従って設計されている. PredNet は、ビデオシーケンス内の将来のフレームを予測し、ネットワーク内の各レイヤーは、上位レイヤーからの後方情報を使用してローカル予測を行い、その予測値からの差分値のみを後続の上位ネットワークレイヤーに転送する. この人工的なネットワークは、脳の視覚処理の理論に匹敵するものであり、高次から低次の視覚皮質領域への逆方向の接続が予測情報を運ぶのに対して、順方向接続は、予測と actual lower-level activities (実際の低レベルアクティビティ) との間の差分値を運ぶ. Brain endeavors (脳の努力)は、そのような差異値を最小にすることであるという仮説が立てられている。」また「予測符号化理論は、いくつかの運動錯視を含む一般的錯視を生成する理論的メカニズムであることが示唆されている[71,72,74-77].」と述べている.

6.1.2.2 予測符号化 (Predictive Coding)

簡単な Predictive Coding のモデルは次のようなものになる。(図 6.2)

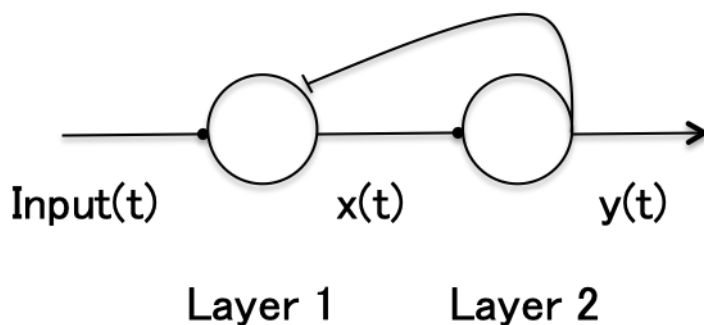


図 6.1 A simple predictive coding model

残差(residual) $x(t)$ は、
 $x(t) = \text{input}(t) - y(t)$
 $dy/dt = x(t) = \text{input}(t) - y(t)$
 $dy/dt = 0$ i.e. $y(t) = \text{input}(t)$

となるように学習されていくが、Rufin VanRullen[79]の簡単な光点滅の実験では1秒程度で収束するようである。

更に、複数の入力に対しての予測符号化としては、次のようになる Rao & Ballard [70] .

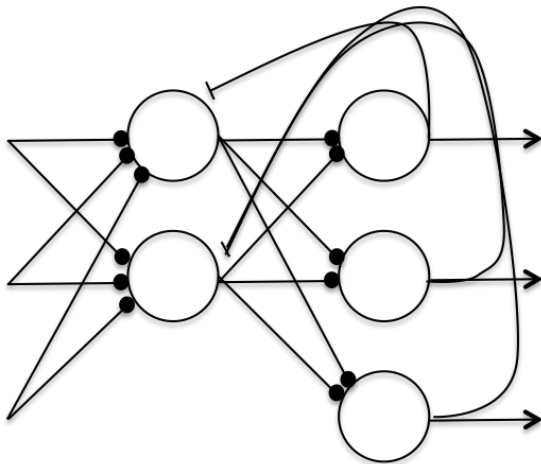


図 6.2 A multiple input predictive coding model

ヒトの視覚システムにおける予測符号化に関していうと、ヒトの視覚システムにおいて「ものを見る」という行為は、目で物理的にものを見るという直接知覚ではなく、網膜像（2次元）から世界（3次元）を推測するという脳による間接的知覚であると主張していることになる[80].

6.1.3 先行研究 3： 固視微動

6.3.1.1 固視微動[81-93]

眼球の微細な動きとして知られる固視微動は、その周波数、振幅、頻度、によりドリフト、フリック(マイクロサケード)、トレモアの3種類の動きに分類される[81,88].

- 1) トレモア： 振幅 20~40 秒角, 平均周波数 83.68Hz
- 2) フリック： 3種類に分類され, 振幅 3~50 分角
 - 2-1) 200~300msec で往復運動するもの
 - 2-2) 40~50msec で往復運動するもの
 - 2-3) 連続的に同方向へ運動するもの
- 3) ドリフト： 5 分角以下,

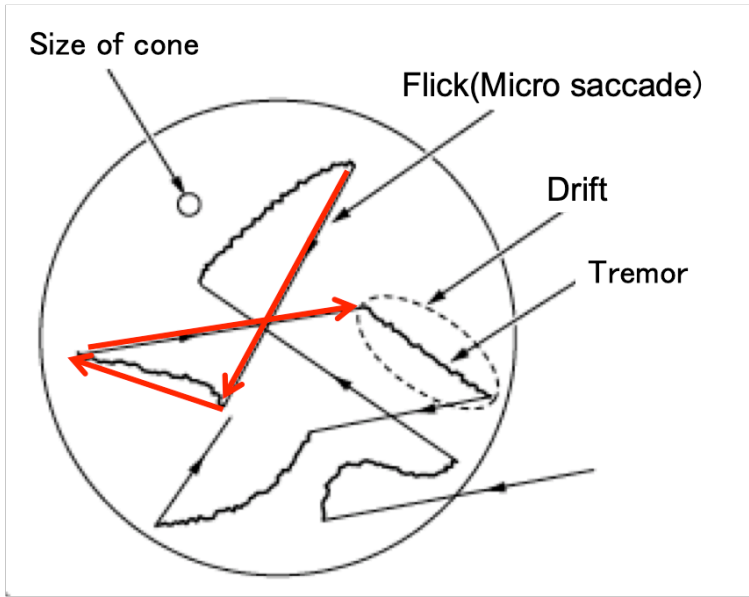


図 6.3 固視微動における眼の動き[81], Flick (Micro Saccade) と Drift に注目する (赤線).
錐体の大きさは直径 0.05mm

6.1.3.2 固視微動に伴う像の揺れを補正する仕組み

固視微動によって、どんなに網膜投影像が動いても相対運動がない限り「眼が揺れているだけで外界は静止しているはず」と脳は判断し、相対運動が発生しているところだけ運動物体と判断する「揺れ補正」がヒトの視覚システムにある。NTT 技術ジャーナル [82]で取り上げているように、固視微動で網膜に映る像がブレている状態に対して、カメラの手ぶれ補正のような「眼振れ補正」を行なっていると考えられる。

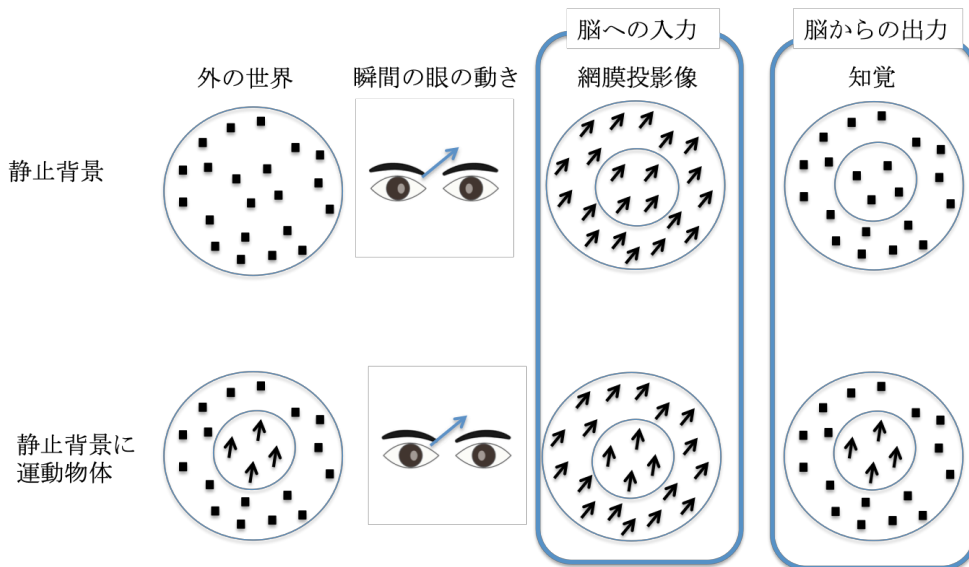


図 6.4 固視微動に伴う像の揺れを補正する仕組み[82]

この固視微動に限らず走行する自動車を眼で追う場合でも、移動体と背景の景色を判別するためには動きベクトル検出と相対運動検出が必要になる。

その一つのモデルとして NTT コミュニケーション科学基礎研究所[82,84]が提案している「画像中に相対運動があるかないか」が揺れ補正のキーポイントとなる。このモデルでは、固視微動によって網膜投影像が動いていても相対運動がない場合は、画面全体が動いているのではなく眼が揺れていると解釈し続ける。一方で相対運動があるところだけ「運動物体があるはず」と解釈する。

6.2 超解像認知メカニズム仮説

ヒトの視覚システムにおける主観的超解像を引き起こす認知メカニズム仮説

先行研究から外界の物理空間における画像がヒトの視覚システムのセンサーLayerである目の網膜にある視神経でデジタル画像として時空間符号化される。目における固視微動等の動きによりセンサーLayerでは与えられた視神経の解像度を大幅に上昇させる機能が備えられているが、そのままでは静止画も動いて見えてしまうため、揺れ補正機能や差分情報のみを上位 Layer に送る仕組みがなされて、視覚システムの上位 Layer への伝送情報量を少なくする工夫がみられる。また、先行研究にみられるように固視微動で画面が揺れていようが、画面全体の動きベクトルが同じであれば、静止画であると判断される。そして静止画部分に対して相対運動としての動きベクトルが検出されるエリアは動体と判断される。

高解像の符号化情報で画像の情報から動きベクトル検出をするのは、処理データ量が多すぎる。ヒトの視覚システムで高速処理を行うために、前節 6.1 の blur & Sharpening のプロセスを使っていると推定したものが、認知メカニズム仮説 1 である。

ただこの時、文字エリアのように解像度が必要となる認識エリアでは上記と異なる処理が行われていると推察される。それが認知メカニズム仮説 2 である。今回の Cyber Vision 表示のように、文字エリアにおいて文字列が分解されて各 subframe が異なるフレームである場合、静止画とも動体とも判断されない認知メカニズムがあるのではないかと考えた。もしそうだとすれば、固視微動で動く程度の振動に関して、微小時間内の数 frame で異なる静止画エリアや動画エリアがある場合、微小時間の数 frame が統合化されて、高解像度の frame として認識される認知メカニズムが存在するのではないかと推察して認知メカニズム仮説 2 を立てた。

6.2.1 認知メカニズムにおける仮説 1

ヒトの視覚システムはどのような認知メカニズムとなっているのであろうか。CyberVision 表示方式による超解像の理論として次のような仮説をヒトの視覚システムとして提案する。

認知メカニズム仮説 1 ;

Step1 : ある範囲でぼかし処理を行う。

Step2 : 先鋭化処理を行い単純化する。

単純化された対象に対して、動きベクトル検出等を行う。

Step3 : 単純化されたものを記憶と比較する。

但し、Step2 において対象物が文字エリアと認識される場合は微小時間内での超解像処理がなされる。これが後述する 6.2.3 節の認知メカニズム仮説 2 である。

6.2.2 認知メカニズム仮説 1 の各 Step の説明

Step1: ある範囲でのぼかし処理を行う

ある範囲というのは、固視微動におけるフリック(またはマイクロサッカード)(3~50 分角)程度と仮定する。これが視認位置 $L=3,000\text{mm}$ とした場合、 $2.61\sim 43.63\text{mm}$ となり、それらしい値となるからである。固視微動におけるトレモア (20~40 秒角) 及びサッカード (0.2~0.7 度) は、それぞれ $0.39\sim 0.78\text{mm}$ と $10.47\sim 36.65\text{mm}$ となり、前者は小さすぎるし、後者は大きすぎると考えるからである。

ヒトの視覚システムでは固視微動の動きを手ぶれ補正同様除去する処理システムが機能していると考えられるので、このフリックの動き補正の範囲の中で $3\sim 12\text{mm}$ 程度 ($L=3000\text{mm}$ における) を 3次元の正規確率分布で存在した点 (ガウシアン・フィルター処理) , つまりぼかし処理をしていると仮定する。

Step2: 先鋭化処理を行い単純化する。

動きベクトル検出がぼかし処理をした段階で行なっているのか、先鋭化処理して単純化した図形に対して行なっているのかは不明である。長尺物を積んだ車、例えば竹竿やクレーン車のような自動車の車長を超えたものを積んでいる車を認識する際に、正確に全長を把握しているというよりは、矢印の錯視と同様に重心点が少し伸びている程度に感じることから推測すると単純化した図形または block に対して動きベクトル検出を行なっているのではないかと推測している。また背景画像に関しては、処理量の関係から画面全体ではなく、特徴点のみで動きベクトル検出を行なっているのではない

いかと推測しているが、まだ検証していない。

文字エリアに関しては、仮説 2 の微小時間内超解像処理が行われ数 frame の再構成処理が実行される。

Step3: 単純化されたものを記憶と比較する。

単純化された図形及び超解像画像データを脳内の記憶と比較し、predictive coding 処理を行う。データ量が少なくなっているため高速処理が可能となる。

一方、文字エリアに関しては、超解像画像データと文字記憶と比較されることにより、より正しい文字認識が可能となる、と考えられる。

6.2.3 認知メカニズム仮説 2：擬似固視微動による文字再構成

仮説 1 の Step2 における文字エリアに関して、微小時間内の再構成処理として、次の仮説を提案する。

仮説 2：擬似固視微動で微小時間複数 frame を再構成する。

Cyber Vision 表示の際のマイクロ・ローテートの動きは今回 40fps 程度の動き (25msec 程度の周期変動) であるが、ヒトの視覚システムがマイクロ・ローテートの動きベクトルを完全にトラッキングしているとは思われない。何故ならマイクロ・ローテートの動きベクトルを検出して 4subframe を再構成しているのであれば、完全に元の文字を再現して 4 倍の解像度になるはず (図 6.23) であるが、そこまで主観的解像度は上がっていない。固視微動の動きも真面目に動きベクトルを検出してトラッキングしていると考えより、「今、固視微動発生」と認識システムにおけるスイッチが起動して、固視微動発生中は全体の静止画部分は既に認識している視覚システム内の静止画で代表させ、相対動きベクトルを検出している動体エリアのみを静止画エリアの中で更新処理をしていると考える方が自然である。

また、本実験システムにおける事前実験によると、自然画像の背景の上にある文字列よりも平坦な背景上の文字列の方が主観的超解像効果が高い。対象 block が文字エリアであると判別する仕組みはまだ分からないが、文字エリアに関しては通常の処理とは異なる処理=仮説 2 の処理を行う。但し、事前実験の結果から推定すると、対象ブロックが文字エリアを含んでいても対象ブロックのフレーム間の差異がある程度以上大きいとフレーム間の再構成処理はしない。

先行研究 3 の固視微動に対する既存の研究を知った上で、画像認識や画像圧縮等の

画像処理をやっていた経験から、「ヒトの視覚システムにおける固視微動」について考えると次の2つの目的が考えられる。

- 1) 固視微動は、静止画部分の差分情報を発生させるためのメカニズムである。
- 2) 固視微動は、網膜の解像度以上にセンサー解像度を上げるメカニズムである。

まず1)に関して； 脳の処理部の第1層に目の網膜にある視細胞で2次元時空間符号化したデータの差分情報を送るシステムを考えた場合、動く物体に関してはこれで良いが、静止画像は目を動かさない限り、差分データ=0となってしまう静止画はブラック表示となってしまう。これを避けるために常に目に揺らぎを与えて差分情報を発生させそのデータを伝達している。

更に2)に関して、視細胞の数は有限であるので、同じ視細胞の数でセンサー部分を高解像度化しようとするこのように揺らす方法は有効な処理方法であると言える。

ただ、先に述べたように、実際に毎フレーム毎に全画面情報から固視微動の動きベクトルを検出して全画面の揺れ補正をしていると考えるのは処理データ量から考えて効率的とは思われない。特徴的な代表点で動きベクトル量を検出し、実際に動体との相対動きベクトルはこの代表点から算出した動きベクトル量と比較して作成していると考えられる。これにより全体画面の静止画の上に動体の相対ベクトル量で移動して画面合成していると考えられるのではないか。エリア単位、処理 block 単位での動き検出であるが、自然画像の時はサンプリング時間の異なる複数フレームでの差分量が少ない場合や注目していない場合は、時間の異なる同一 block での差分データの threshold は高いが、文字エリアの差分 threshold は小さく、文字エリアに関しては、少ない差分量の場合、動体とみなすのではなく超解像合成処理を行っていると考えられる。

これは、Cyber Vision の事前実験で

- A) 平坦な背景色で文字列がある場合
- B) 森などの自然画像の背景の上に文字列がある場合

とすると、後者の場合、超解像が起きにくいことから推察したものである。

マイクロ・ローテートの動きベクトルは検出していないと推察される。今回の実験では40fpsつまり25msec 毎の変化である。網膜の処理としては、240fps(4.2msec) ぐらいの時空間符号化能力があるのではないかと推定されるが、その第1層の処理層は全画面のデータ処理をしていないと推定される。従って、25msec 毎の細かいマイクロ・ローテートの動きベクトル検出及びトラッキングは行っていないと思われる。代表点による動きベクトル検出はしていても、トラッキング情報を正確にとるためではなく、単

に微小振動=ON, 超解像処理 start といった処理のスイッチ機能をスタートさせるかどうかの判断をするための情報を得ているに過ぎないのではないか. これは 30fps や 60fps の時間サンプリングされた TV 映像を与えられた際に, その映像を脳 (視覚システム) が連続的な動画として扱っていることから 16.7msec 毎に連続的に画像サンプリングする能力がヒトの視覚システムにあることは明らかである. 例えばプロペラの錯視[69]などからもこのことは推測される.

また前段でも述べたように, Cyber Vision の超解像でもマイクロ・ローテートの動きベクトル検出ができているとすると縦横 2 倍の 4 倍の解像度になるはずであるが, 経験上 1.5~2.5 倍程度の主観的超解像の改善イメージ*1 なので, このことから Cyber Vision 超解像に伴うマイクロ・ローテートの動きベクトル検出及トラッキングをヒトの視覚システムは処理していないと考える次第である. (*1: 主観的解像度の客観的尺度を現段階で確立しているわけではない. 現段階ではあくまで主観的イメージである.)

6.3 Cyber Vision 表示方式

時空間変調表示 Cyber Vision による主観的超解像効果を実験で確認した. この時空間変調表示であるが, 粗い LED パネル上に隣接する画像データを Dynamic に表示することにより, 実際の LED パネルの画素数よりも解像度が高くなったように見える主観的超解像効果がある. 表示パネルの発光点は固定されているため, 固定カメラで撮影すると平均値表示と Cyber Vision 表示の解像度は同じである. 従ってこの超解像効果はヒトの視覚システムによるものであると推測されるが, 何故そのように見えるかは分からなかった. この節では Cyber Vision 方式と従来の色分散配置による解像度向上方式について述べる.

RGB 発光素子を分散配置し, RGB 発光素子を読み換えて画像データに対応させることで半画素ずらしで解像度を上げる既存の方式を説明する. その後に Cyber Vision 表示方式を説明する.

6.3.1 Previous work for sub-pixel resolution

同一の画素数で解像度を上げる手法として RGB 画素を読み替えて半画素ずらしをする方法[57,58]が知られている(図 1). 例えば, 30fps の TV 信号を 4 つの subframe に分けて, 図 1-a)~図 1-d) のように表示する. この表示方法では, 実画素として構成される RGB 画素の組合せが物理的に半画素ずつずれるので, 縦横 2 倍相当となり, 同一画素数で 4 倍相当の解像度向上が見込める. 但し, 近年の傾向として RGB の各 LED 画素チップを組み込んだ 3in1LED ランプが主流である(図 2-a). 同様に屋外用 LED パネ

ルでも RGB ランプの集合体を 1 画素とし高輝度画素を構成する手法が主流である(図 2-a,2-b). このため本稿の RGB 画素の読み替えで解像度を上げる手法は使われなくなっている.

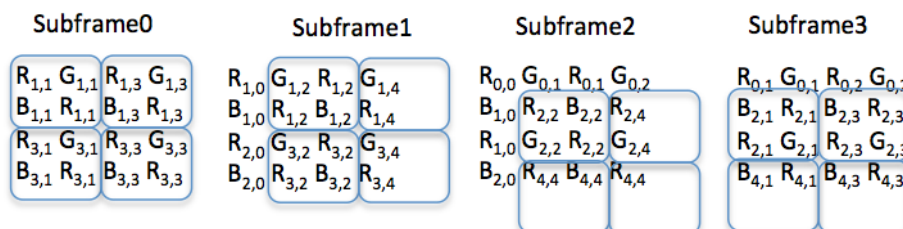


図 6.5 : RGB 画素の読替え方式

dynamically changing data correspondence with RGB pixels method

6.3.2 Our approach for super-resolution display

低密度なドット構成の LED 表示素子に対して, 今回我々は図 6.6 の subframe0~3 の順序, すなわちマイクロ・ローテートの順で同一の LED 表示格子点に 40fps で映像データを表示する [53-56].

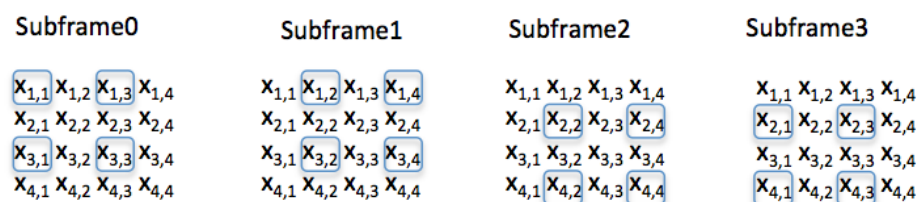


図 6.6 micro-rotate dynamic Cyber Vision Display method

以上の説明で明らかのように前者は画素データに対して物理的な表示位置がずれているが, 後者では物理的な表示位置, 発光点は固定されている. 発光点が固定されているにも関わらず解像度が上がって見えるところが新しい表示方式である. これは LED の高速応答性があるために実現した表示方式であるが, 何故ヒトの視覚システムを介すると超解像効果が得られるのか? という疑問がでる. まずはその前に 6.4 節において実際に超解像効果があることを実験で確認する.

6.4 Cyber Vision 表示方式による超解像確認実験

6.4.1 実験方式

実験装置(図 6.7)としては, 1fps~960fps の間で任意のフレームレートでフルカラー映像を表示できる可変フレームレート高速表示実験システムを用いた. これは超高速表

示システム[95, 96]の副産物として開発した, 5.4 節で示した可変フレームレート表示実験システムである. 今回この実験装置をメモリーモードで使用し, 表示データをプログラムから数値入力して出力するため $\gamma=1.0$ としガンマ逆補正は行わない条件で実験を行った.

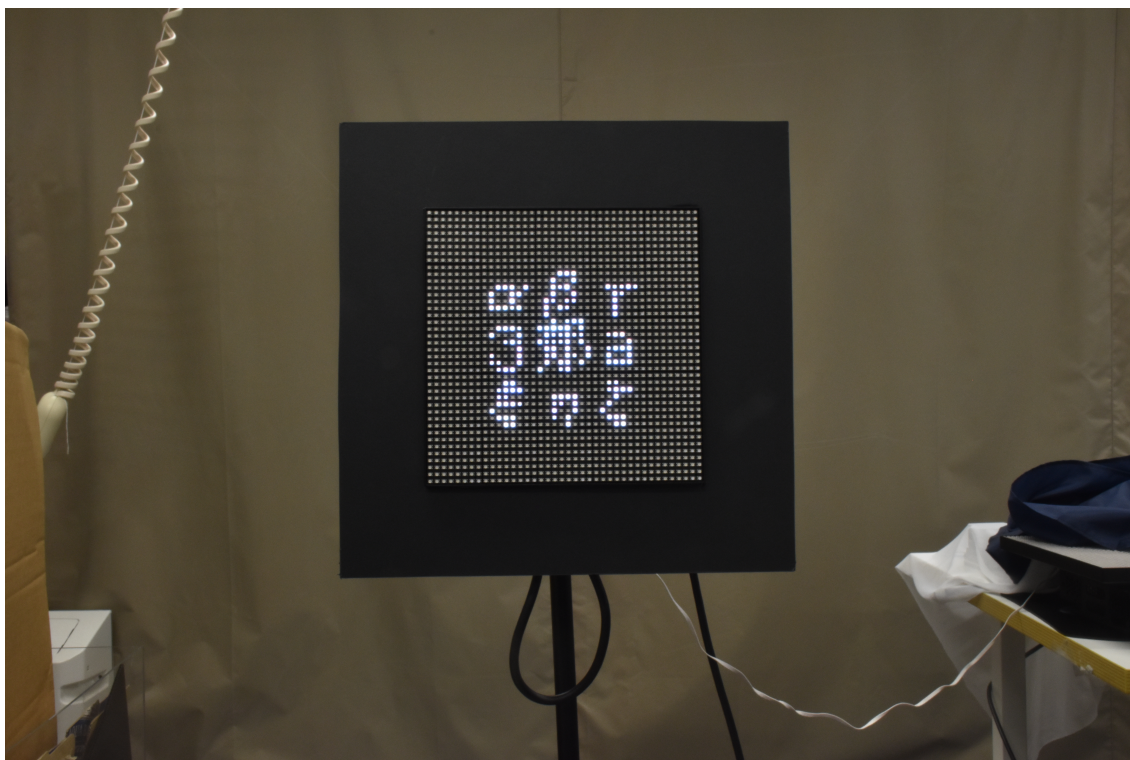


図 6.7 LED panel used for experiments

被験者 6 名に対して, 次の 4 つのパターンについて 2 対比較法による評価を行い, シェフェの分散分析を行なった.

[Case1] 40fps MR (マイクロ・ローテート) 輝度 40%

[Case2] 80fps MR 黒 (マイクロ・ローテートの各 subframe の後に, 黒表示の subframe を挿入) 輝度 80%

[Case3] 40fps 平均 (4 画素の平均 subframe を 4 回繰り返し表示) 輝度 40%

[Case4] 80fps 平均黒 (4 画素の平均 subframe の後に, 黒表示の subframe を挿入) 輝度 80%

ここで, 平均は $x=1/4 (x_{1,1}+x_{1,2}+x_{2,1}+x_{2,2})$ と 4 画素の単純平均である.

この実験装置を用いた事前実験において, 15fps から 120fps の間で平均値表示に対して解像度改善が見られた. 今回の実験では, その中でも改善度合いが比較的分かりやすい 40fps を選定した. また液晶ディスプレイ等で黒フレームを挿入する方法も提案され

ているため、黒フレーム挿入方式として Case2, Case4 を追加して評価した。黒フレームを挿入することにより平均輝度が半減するため、Case1. MR 表示及び Case3. 平均表示を予め黒挿入する場合の半分の輝度で表示することにより、全ての平均輝度をほぼ同等にするよう調整した。

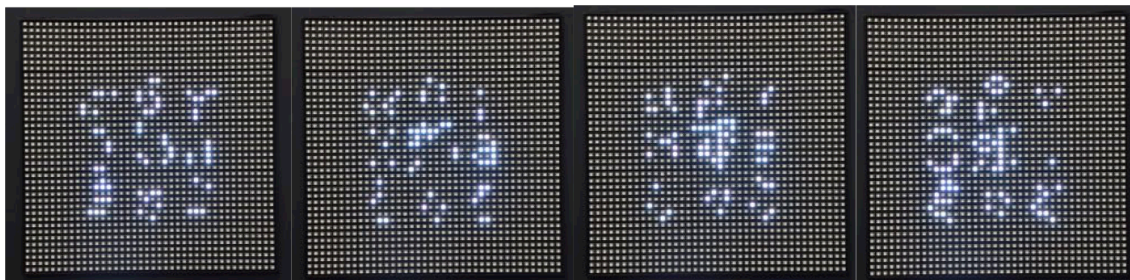


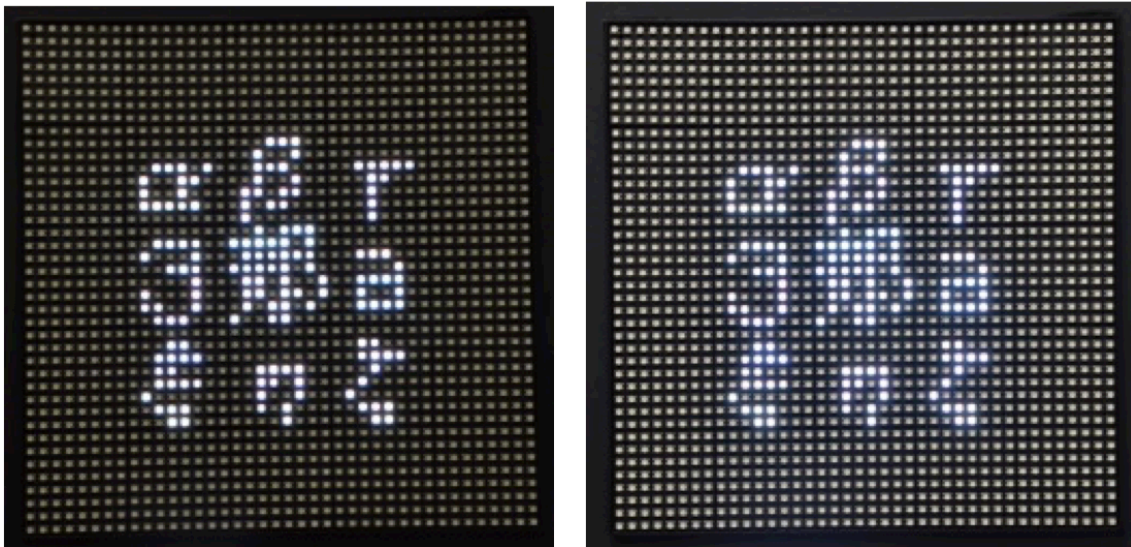
図 6.8 Case1 : Cyber Vision 表示方式における 4-subframe の各 subframe 表示 (micro rotate 左回り)



図 6.9 Case3: 2x2 の平均値表示

今回、我々は 40fps で近傍データをマイクロ・ローテート表示する表示方式と近傍データの平均値を 40fps で 4frame 連続表示する方式の両者に対して、知覚される解像度の実験を行なった。上記先行事例から 40fps (25msec) の表示 frame は、120msec 内に 4.8frame 含まれる為、前者のマイクロ・ローテート表示と後者の平均値表示は、同様の解像度に感じられることになるはずである。

実際、固定カメラで撮影すると、図 6.10 のように Case1 と Case3 は、ほぼ同一の解像度の写真となる。



(a)

(b)

図 6.10 本実験機で Case1,Case3 を固定カメラで撮影した表示写真

(a) 40fps で 4-subframe を表示したものを 1/8 のシャッタースピードで撮影したもの.

(b) 40fps で 4 画素平均を繰り返し表示したものの.

6.4.2 実験装置

本実験で使用した実験装置 (図 6.7) は, 第 5 章で説明したスタティック高速可変フレームレート表示実験システム (1~960fps) である.

今回の実験では, この実験装置のメモリー表示モードを用いて表示している. 従って, Case1 では各 subframe_i (i=0, 1, 2, 3) は, 6frame (表示スピードは 960fps) ずつ繰り返し表示され, Case3 では 24frame 繰り返し表示されている.

またメモリー内の表示データはガンマ補正されていない画像データとして作成しているので, ガンマ逆補正せずに ($\gamma=1.0$) 表示している.

6.4.3 実験用データ

映像の元データとして, 16x16 ドット*1 の小伝馬町 16 (角ゴシック) を用いた. 2x2 の block で平均化すると, 8x8 ドット表示となり特に漢字では文字が潰れる (図 6.9). またこの 16x16 ドットの文字フォントをサブサンプリングした各 subframe0~3 は, 図 6.8 で表示されるように文字としては認識しづらい.

*1: 16x16 ドットの文字フォントでは, 上下左右のセパレータとして 1 ドットずつスペースを設けるため, 実際の文字ドットとしては 15x15 ドットとなる.



図 6.11 オリジナルデータ 小伝馬 16 フォント

An Excel spreadsheet showing the original data for the '小伝馬 16' font. The columns represent character codes (A-Z, a-z, 0-9, and special characters) and the rows represent each character in the font set. The data is organized into a grid of 16 columns and 82 rows.

図 6.12 オリジナルデータ 小伝馬 16 フォントのエクセル表示

6.4.4 結果

実験の結果得られた各方式の尺度値を比較すると、Case1. MR は Case3. 平均に対して約 0.875 および Case4. 平均黒に対して約 0.854 といずれに対してもヤードスティック $Y_{0.01}=0.658$ 以上の差異を得た。この為、Case1. MR 表示は平均表示に対して、解像度 up において明確な有意差があると認められる。一方、Case2. MR 黒については有意な差は得られなかった。

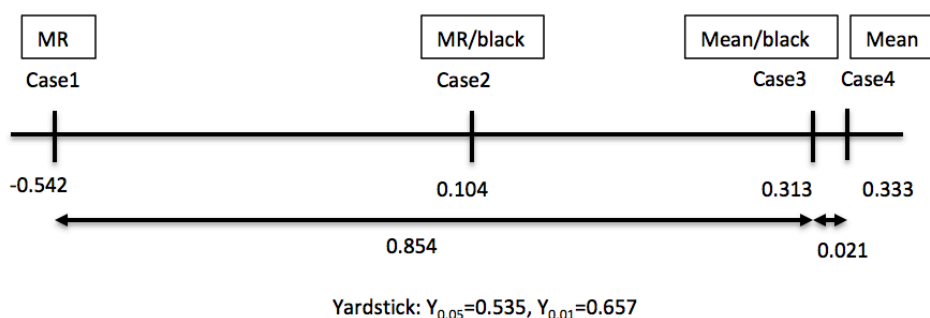


図 6.13 Scale of Perceived resolution

今回の表示で、subframe0～subframe3 の 4subframe 間では同一の発光点が点滅しているだけなので、固定カメラで撮影すると Case1 : MR 表示と Case3:平均表示とは同一表示となる (図 6.10)。先行研究[7]においてヒトの視覚システムは 120msec の情報を統合するとされている。この「120msec の情報を統合」というのをヒトの視覚システムは 120msec の情報を積分すると解釈すると、40fps では 120msec において 4.8frame 含まれるため、従来の研究では Case1 と Case3 はカメラ撮影の場合と同様、ヒトの視覚システムでも同一解像度と認知されることになる。ところが今回の実験では Case1 と Case3 は被験者による認識で有意差が生じている。このことは、CyberVision 表示方式において、ヒトの視覚システムが固定カメラによるモデルでは説明できないことを示唆している。

物理的に固定された同一点に周辺画素情報を時間的にずらしながら、ある一定の周波数で Dynamic に表示すると平均化された表示よりも高解像度の画像が表示されていると感ずることが確認された。

6.5 擬似固視微動関数による再構成

6.5.1 超解像度の第 2 の仮説に関するシミュレーション案

1. 仮説 1 の第 1 Step : ぼかし処理 (ガウシアンフィルター処理)

2. 仮説 2： 擬似固視微動で数 frame の再構成

を実施する超解像の第2仮説に関するシミュレーション案を示す。

今回、擬似固視微動揺らぎとして、次のような簡易な揺らぎ関数を採用した。6.4 節の実験で行なった $L=3000\text{mm}$ の視認位置で考えるとフリック (3~50 分角) は、 $2.61\sim 43.63\text{mm}$ となる。発光点の間隔は 6mm ピッチである。既に発光点である LED チップをカバーするレンズ部でガウシアンフィルター相当のフィルターがかかって発光点は直径 $3\sim 4\text{mm}$ (中心発光点に対する輝度 50% エリア) に Blur されている。

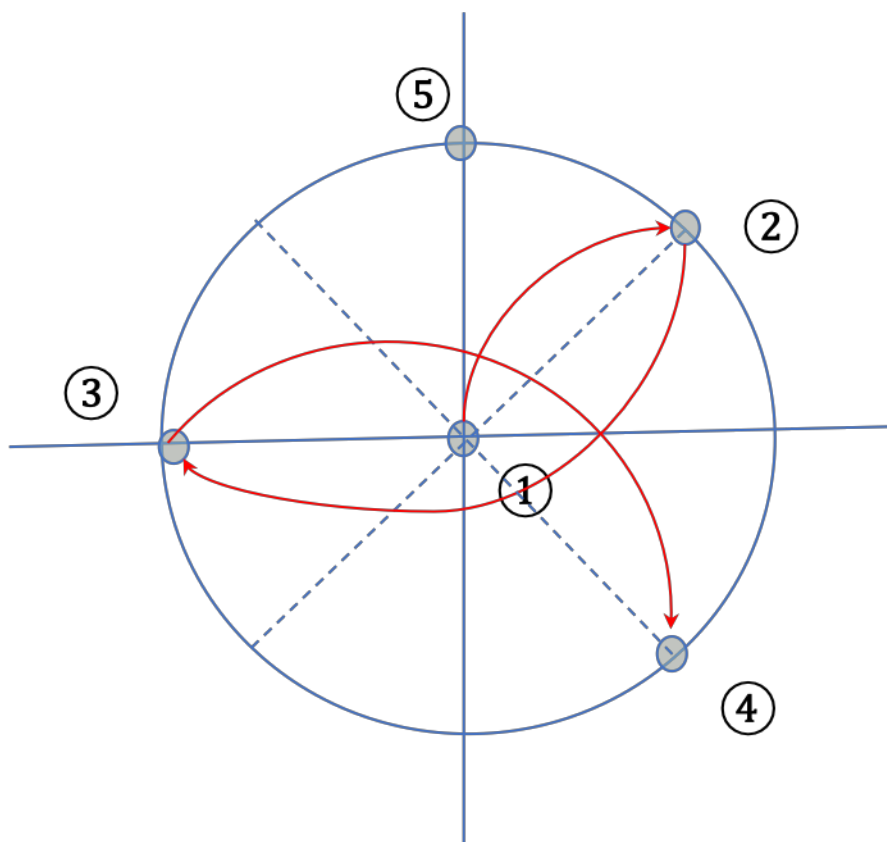


図 6.14 今回用いた擬似固視微動の簡易関数例： $\pi/4$ ずつ回転させながら円周上を移動する関数で擬似的に固視微動の Micro Saccade 及び flick の動きを simulation する。

今回、擬似固視微動揺らぎ関数として、 $3/4\pi$ ずつ円周上を回転する簡易関数を用いた、この簡易関数の詳細については次節 6.5.2 に記す。固視微動の動き simulation として、 $1/f$ 揺らぎ、自己回避型ランダムウォークモデル[96]、フラクショナルブラウン運動 (fBm) [94]、フラクタル次元解析[95]などが提案されている。但し、ヒトの視覚システムにおいて、今回のような超解像化処理の数 frame の簡易合成にそのような複雑な関

数を用いているとは考えにくい。そのため、それらしい簡易関数を用いることにした。また、事前実験でマイクロ・ローテート以外の、横ジグザグや縦ジグザクの動きも実験してみたが、マイクロ・ローテートよりも劣る結果であったので、簡易関数も横ジグザグや縦ジグザクの一方向だけでなく斜め方向も入れるものとした。

擬似固視微動の揺らぎ振幅として、固視微動の flick(micro saccade)と drift から推定して、2.6 から 44mm のパラメータ範囲を考えるが、実際には 1~6mm を中心として simulation を行なった。

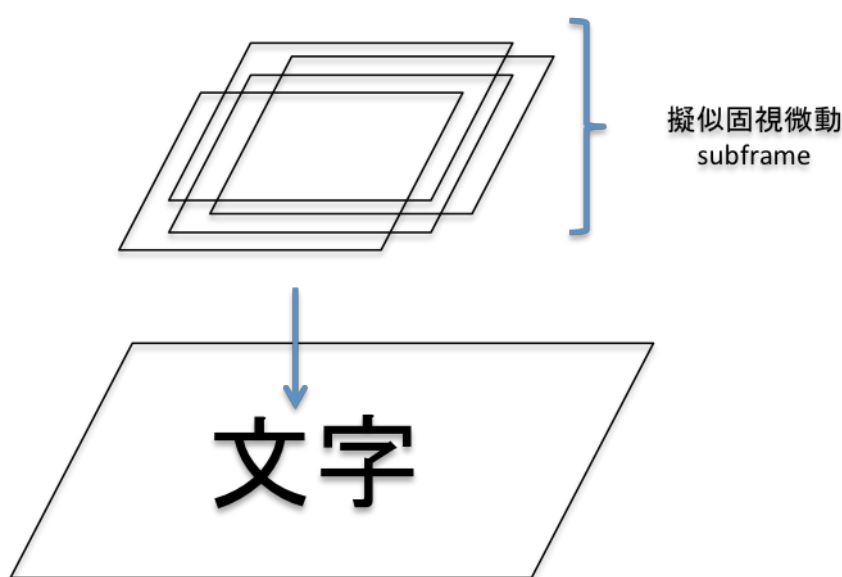


図 6.15 複数の subframe が擬似固視微動の簡易関数で移動したものを重ね合わせて再構成する概念図

感覚的には、平均値画像を 1，元画像を 4 とした場合、1.5~2.5 程度の主観的超解像効果が現れているような気がするが、あくまで感覚評価である。文字超解像の次元を表す評価方法を確立する必要がある。縦横 2 倍の解像度を 4 とすると、今回の場合 1~4 の間の中間値になると予想されるが、ものの複雑性を表すフラクタル次元のように、数値処理できる評価方法を確立できると、上記のような感覚的な表現ではなく定量的な評価ができるようになる。

6.5.2 簡易擬似固視微動関数

擬似固視微動関数として、様々なものが提案されているが、数 frame の画像再構成用の動きとして、図 6.14 のものを簡易擬似固視微動関数として用いた。これは、frame0

は原点におき, frame1, frame2, frame3 は円周上を $3/4\pi$ ずつ回転する位置に移動するパターンとした. これは図 6.16 に示すように 8 個のパターンで元のパターンに戻る簡単な巡回群となっている. 移動量 δ に対して, 更に格子点に合うように単純化している.

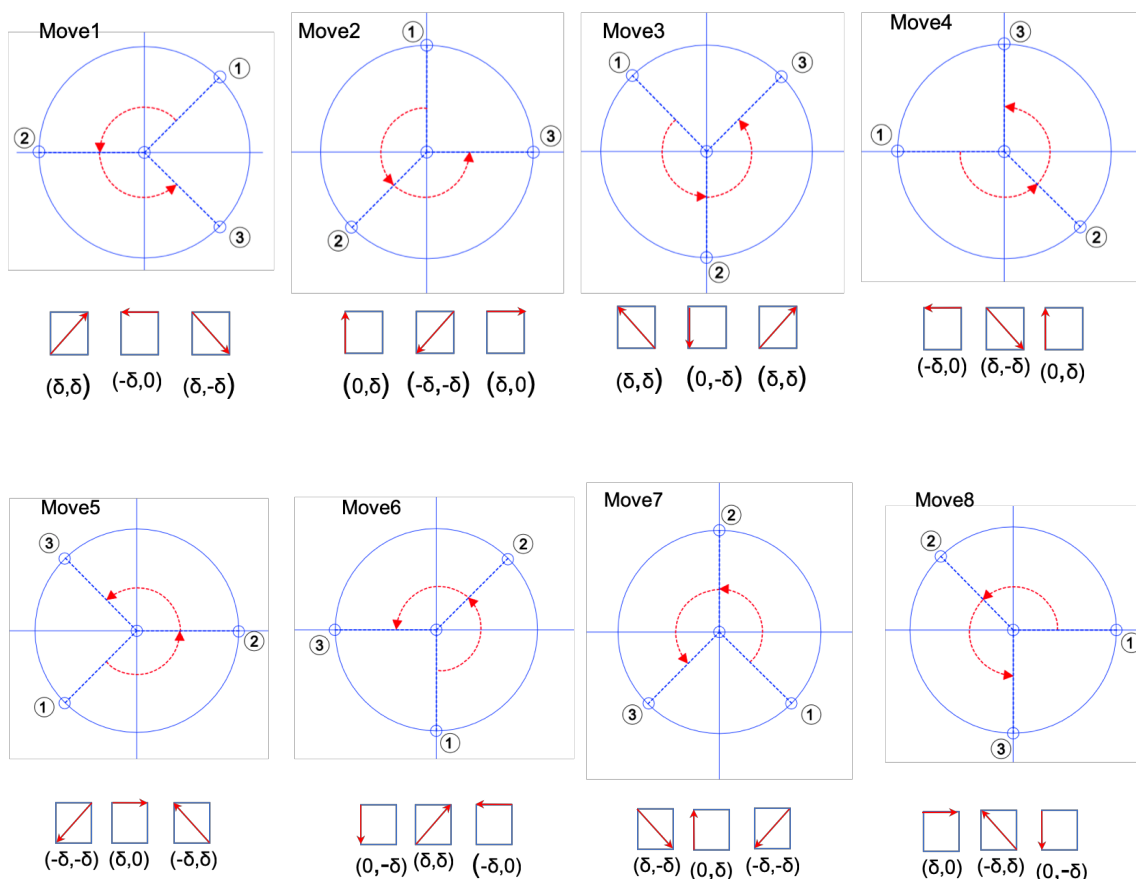


図 6.16 簡易擬似固視微動関数の動きパターン

6.5.3 簡易擬似固視微動関数による再構成の simulation

オリジナル画像を subsampling して 4 つの subframe を作成する. subframe 画像は, 図 6.17 に示すように, subframe0~subframe3 となる. 前節における簡易擬似固視微動関数の 8 つのパターンでオリジナル画像を再構成したものが次のような画像となる. 今回 LED ピッチが 6mm ピッチとなる. 例えば, Simulation 分解能を 6mm に対して 12 とすると移動量 1 は 0.5mm となる.

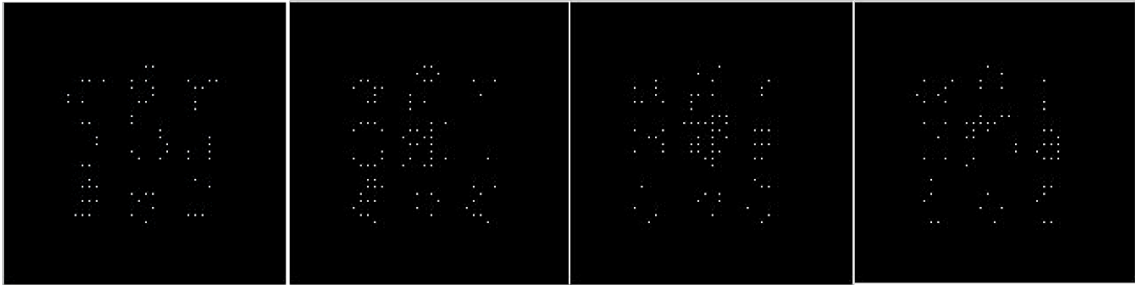


図 6.17 オリジナル画像を右ローテートで subsampling した subframe 画像 (分解能 4, Gaussian Filter 無し)

simulation は分解能 12 (0.5mm ピッチ) で実施した, 移動量は解像度 12 に対するものである, 移動量 1 は 0.5mm である. 但し, 掲載した図は分解能 12 では印刷上見難いので, 分解能 4 または 6 のものを使用している.

簡易固視微動関数ではなく Micro Rotate で再構成すると次の画像となる(図 6.18, 図 6.19). 移動量的前提条件としては, 簡易固視微動関数の条件と同じように, ガウシアンフィルターOFF, 解像度 12 である.

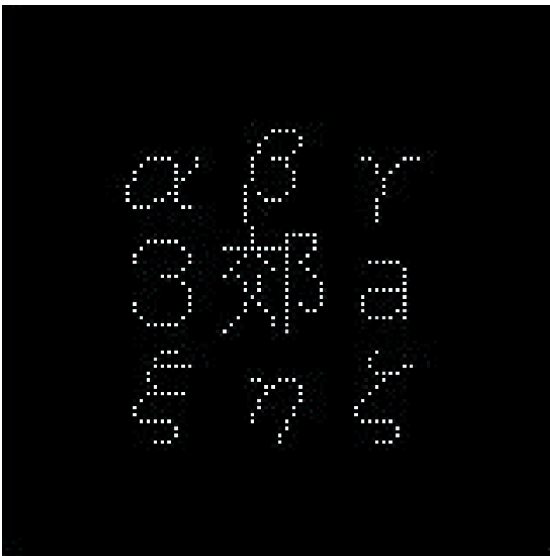


図 6.18 分解能 4, 移動量 2 の micro rotate 再構成データ ; 6mm ピッチ LED 表示機に対して実移動量 3mm で 4subframe を再構成した画像表示である. Original 画像と同等の解像度となる.

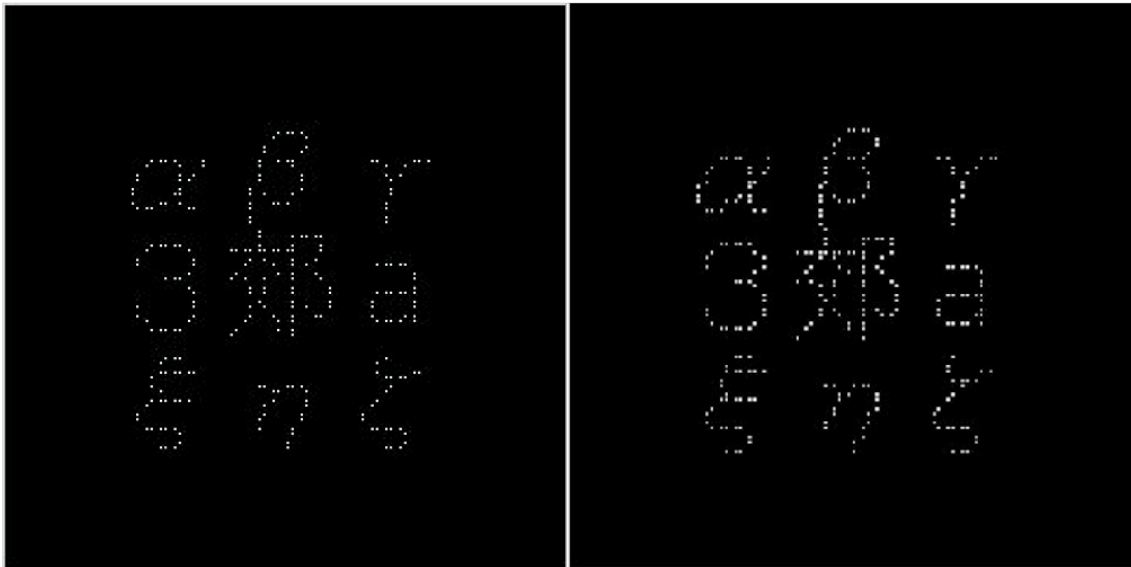


図 6.19 移動量 1 と 3 (/ 分解能 4), Gaussian Filter=OFF の micro rotate 再構成データ. 移動量=分解能/2 以外の場合は元画像の解像度までは復元されないが, 平均値画像よりは解像度は上がる.

分解能 12 の際に移動量 $\delta=4$ とすると, 簡易疑似固視微動関数のどのパターンでも平均値より解像度は上がっているように見える (図 6.22). 一方, 移動量 $\delta=8$ では, P4, P8 では一部の文字で解像度が上がって見えるが他のパターンでは発光点が分散して解像度は落ちている (図 6.23). いいとこ取りで考えると 4mm の移動量も可能だが, 2mm 程度が妥当のようである.

全パターンの図では小さく印刷すると見難いので, 一部を拡大する. 図 6.20 は移動量 2 / 分解能 6 のパターン 4 である. 移動量 $\delta=2$ ではどのパターンも平均値表示よりは主観的解像度は上がって見える. 図 6.21 は, 移動量 4 / 分解能 6 のパターン 8 とパターン 1 の拡大図である. パターン 8 では, ノイズは増えているが主観的解像度は上がって見える. パターン 4 も同様である. 一方, 他のパターンは, このパターン 1 のように, 移動点列がランダムに分散してしまい, 主観的解像度が上がったとは言い難い. もしかすると, いくつかの再構成パターンのうちで比較的良好に見えるものを選ぶ機能があるのかもしれないが, 分解能 6 で考えた場合, 移動量は 4 よりも小さいと考える方が妥当ではないかと思われる.

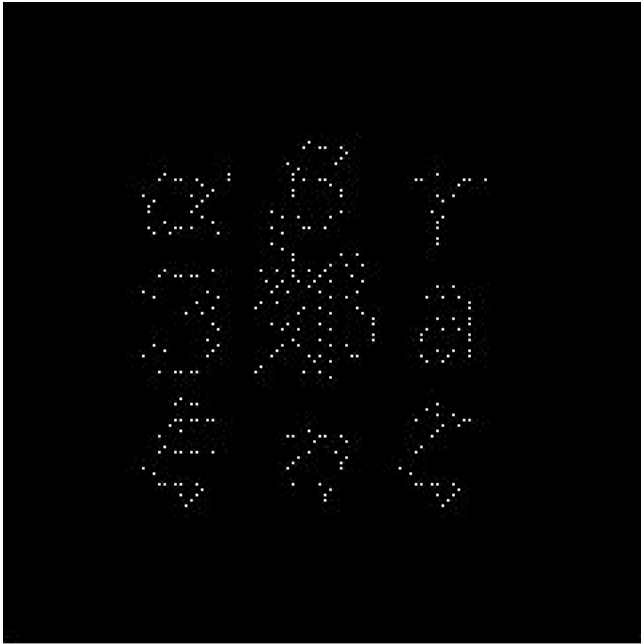
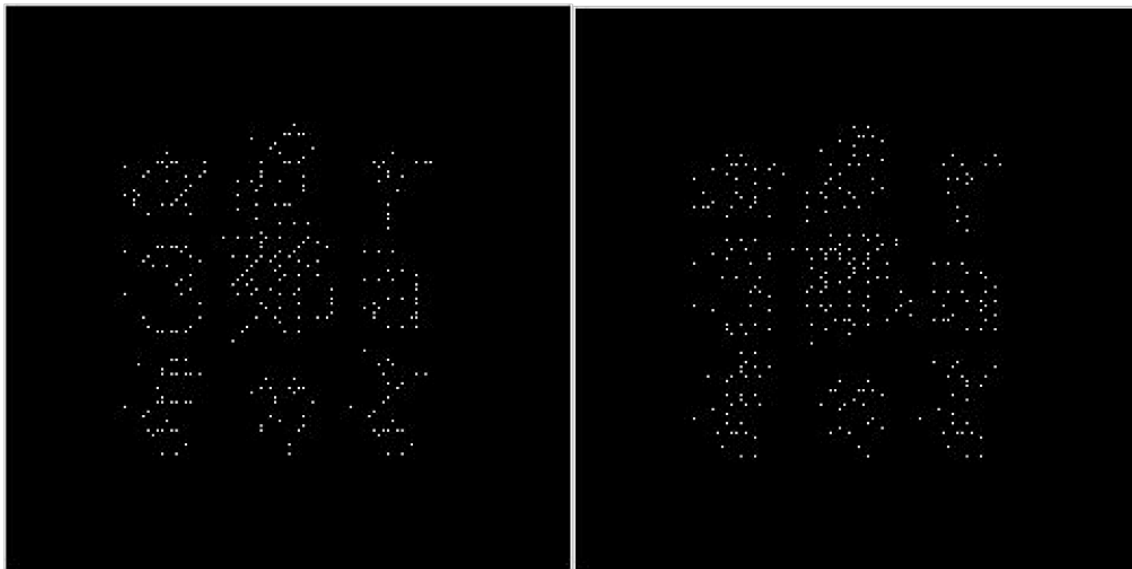


図 6.20 移動量 $\delta=2$ /分解能 6, 簡易疑似固視微動関数パターン 4 (P4) の拡大図. ガンマの上部の開き具合が改善されており, 漢字「郊」が潰れずに読める.



P8_6_4

P1_6_4

図 6.21 移動量 $\delta=4$ (分解能 6, Gaussian Filter=OFF) P1 再構成データの拡大図 (分解能 12, 移動量 $\delta=8$ に相当). 点がばらついてノイズ化しているが, 各文字は平均値よりは潰れずにオリジナルデータに近い解像度で読めるとも言える.

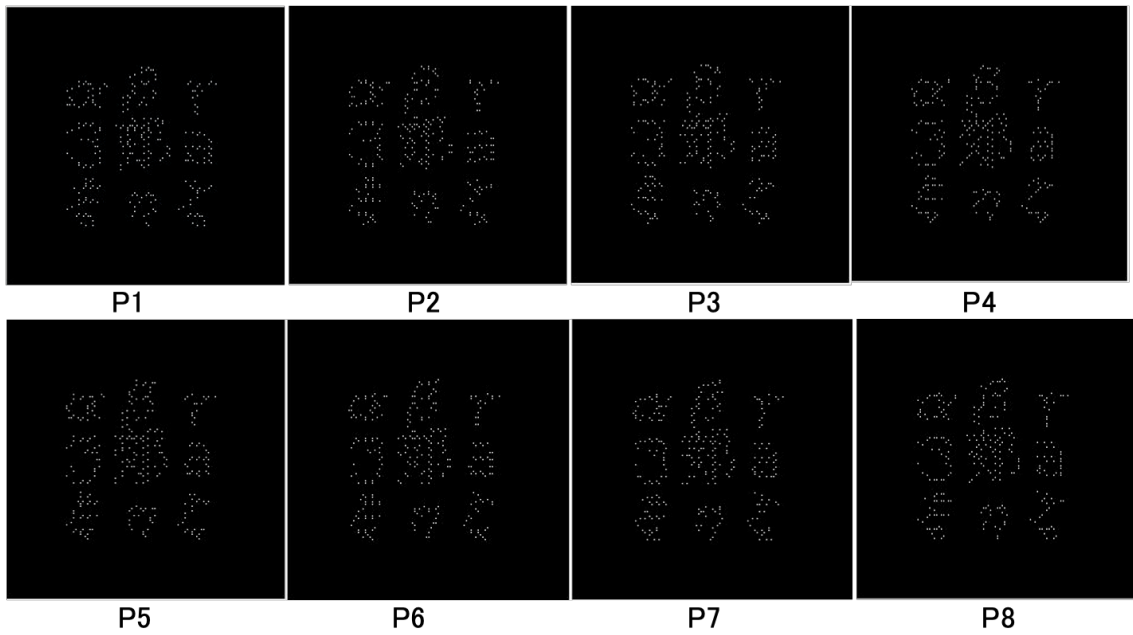


図 6.22 移動量 2 (分解能 6, Gaussian Filter=OFF) P1-P8 再構成データ. 分解能 12, 移動量 $\delta=4$ に相当.

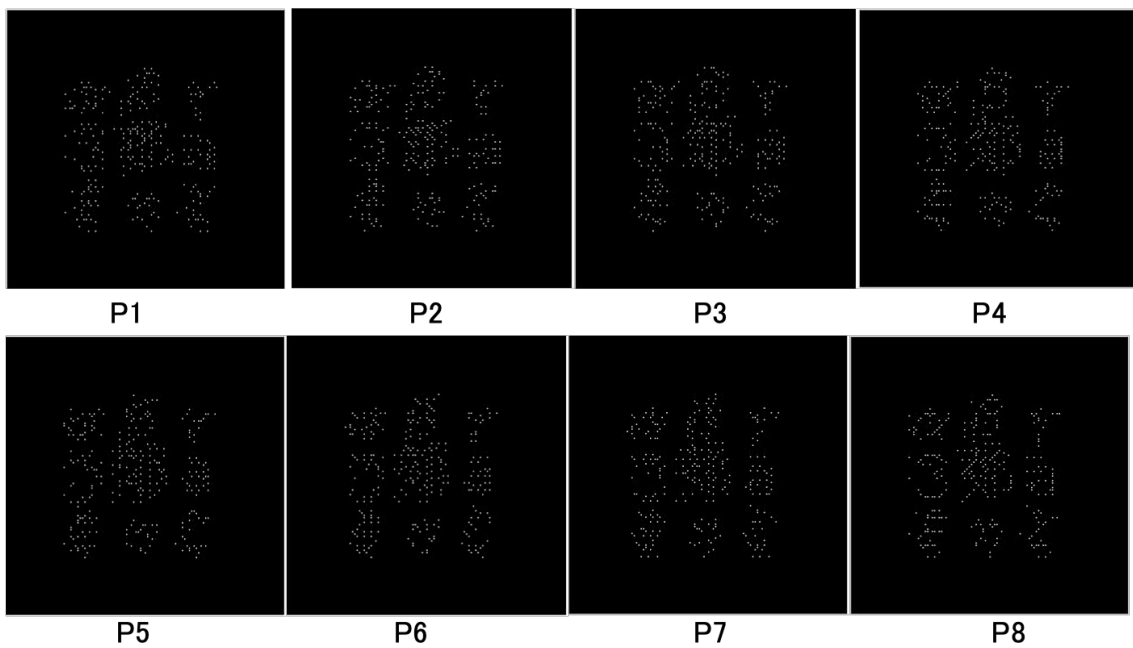


図 6.23 移動量 4 (分解能 6, Gaussian Filter=OFF) P1-P8 再構成データ. 分解能 12, 移動量 $\delta=8$ に相当.

6.5.4 簡易疑似固視微動関数による再構成結果

簡易疑似固視微動関数による再構成結果としては、移動量3~4程度(/解像度12)なのではないか、と考えている。実際、概略的な事前実験として、国際学会 IDW2018 のポスター発表の際に、数十名の研究者に実験機でのデモを見てもらった。その際の回答として、確かに主観的解像度が上がって見えるが、主観的な印象としては、図 6.23 の Original 画像や平均値ではなく Pseudo FEFM(移動量2/解像度6, Gaussian Filter=ON) のように見えるという意見が大多数を占めていた。

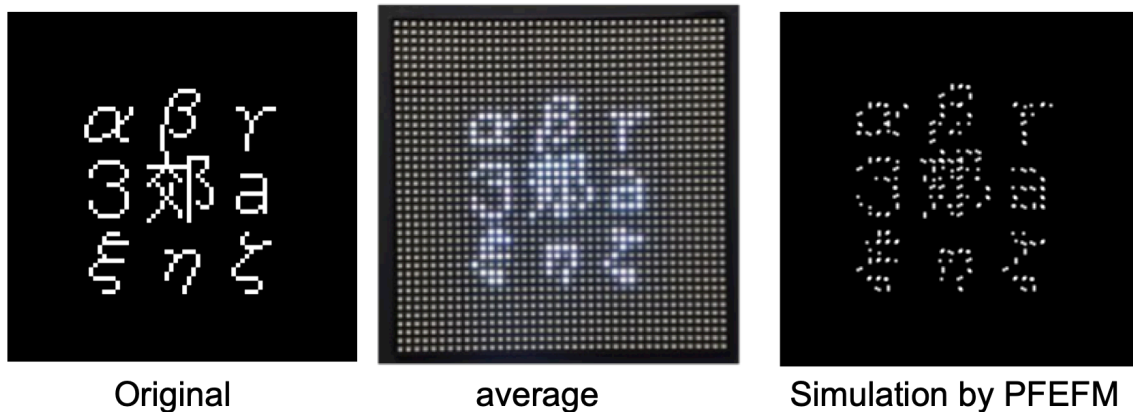


図 6.23 Simulation examples Pseudo Fixation Eye Fine Movement

固視微動の中でも、Flick (Micro Saccade) と Drift に注目している。その振幅と周波数は、次のようになる。

Flick (Micro Saccade) 3~50 分角

振幅 200~300msec 3~5Hz

振幅 40~50msec 20~25Hz

Drift 5~6 分角 1Hz

Flick のデータから、視認距離 $L=3,000\text{mm}$ では、 $2.6\sim44\text{msec}$ 、 $20\sim25\text{Hz}$ ということになる。6mm ピッチの LED 表示機での実験のイメージとしては、 $20\sim25\text{Hz}$ で $2.6\sim6\text{mm}$ 程度である。更に限定して、移動量は $20\sim25\text{Hz}$ で $3\sim4\text{mm}$ 程度と考えると、 40fps では、 $1.5\sim2\text{mm}$ 程度。上記実験における解像度では、移動量 $3\sim4$ となる。

事前実験によると表示周波数が上がると移動量も減少するため、予想としては、 60fps で $1\sim1.33\text{mm}$ (2~3 ポイント)、 80fps で $0.75\sim1\text{mm}$ (1.5~2 ポイント) である。

6.6 今後の課題

6.6.1 仮説2における「擬似固視微動関数による再構成」へのアプローチ

事前実験における結果としては、主観的解像度に仮説2の擬似固視微動再構成が行われているように見えるが、これを確認する実験において、図6.24のような傾向を示して且つ傾きが固視微動周波数と移動量に相当していれば、仮説2は確からしいと推論できる。

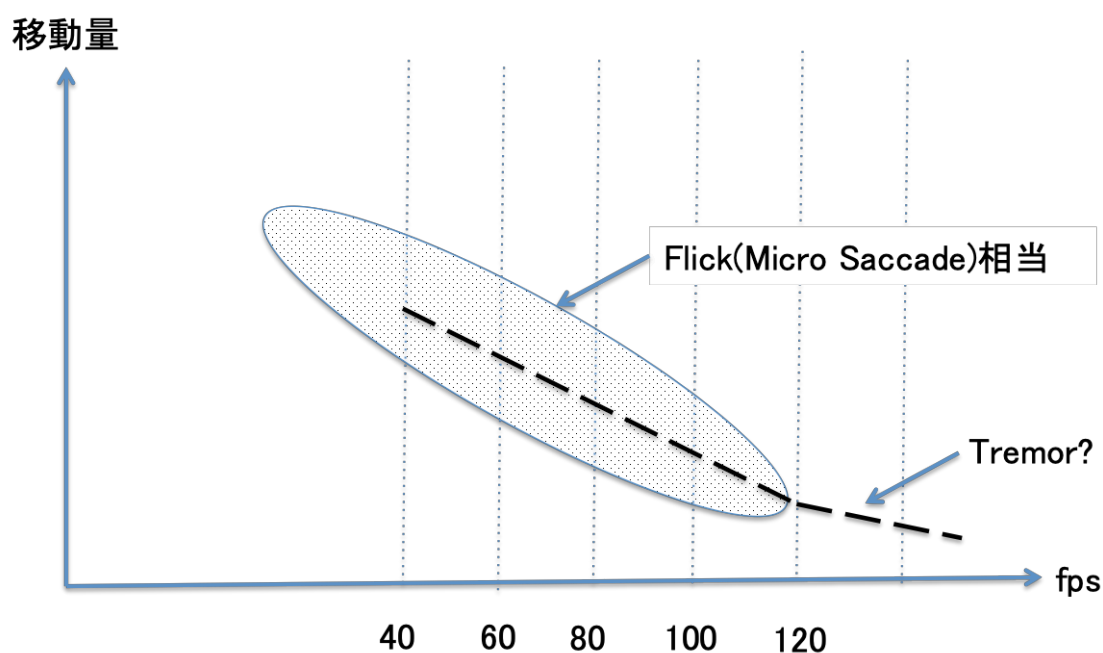


図 6.24 Cyber Vision 表示周波数と主観的解像度における subframe 移動量の予想プロット

問題は実験方法である。脳の中で行われている主観的超解像をどのように客観的データとして取り出すか。現在考えている方法は、simulation で再構成した画像を移動距離別に基準画像とし、表示 frame rate 毎にどの移動距離の基準画像に近いアンケート調査するものである。この実験結果によってプロットされたデータ群が図 6.24 のような固視微動速度依存性があれば、仮説2も一歩先に進めると考えている。ただ実際にはかなり微妙なアンケート調査となるため、確認実験方法に関しては検討中である。

6.6.2 認知メカニズム仮説1に基づく高速認知システム

ヒトの視覚システムの認知メカニズム仮説1の別の応用効果として、人工的な認知システムの高速化が考えられる。

6.6.2.1 自動運転システムにおける課題

自動運転技術の開発にディープ・ニューラル・ネットワーク(DNN)を使った画像認識や判断システムが使われ格段の進歩を遂げている。ただ文献[50]でも指摘されているが、DNN 技術を使った画像認識は計算負荷が大きく、GPU ボードの入ったパソコンを使った場合に 1 枚の画像を処理するのに 250msec もかかるものがある[51]。一方で、時速 100km で走行している自動車は、1 秒間で 28m 進むので、事故を避けるためには少なくとも数十 msec 単位の認識速度が必要である。更に車載用の処理システムとしては、省電力、耐熱性、小型化等の要求仕様を満たす必要があり、パソコンよりも処理スピードが遅くなることが推察されうる。このため計算負荷を減らす処理方式が不可欠である。

6.6.2.2 認知メカニズム仮説 1 に基づく高速認知システムの提案

DNN 処理と認知メカニズム仮説 1 を組合せた高速認知システムを提案する。高速認知システムの概略処理フローは図 6.16 のようになる。

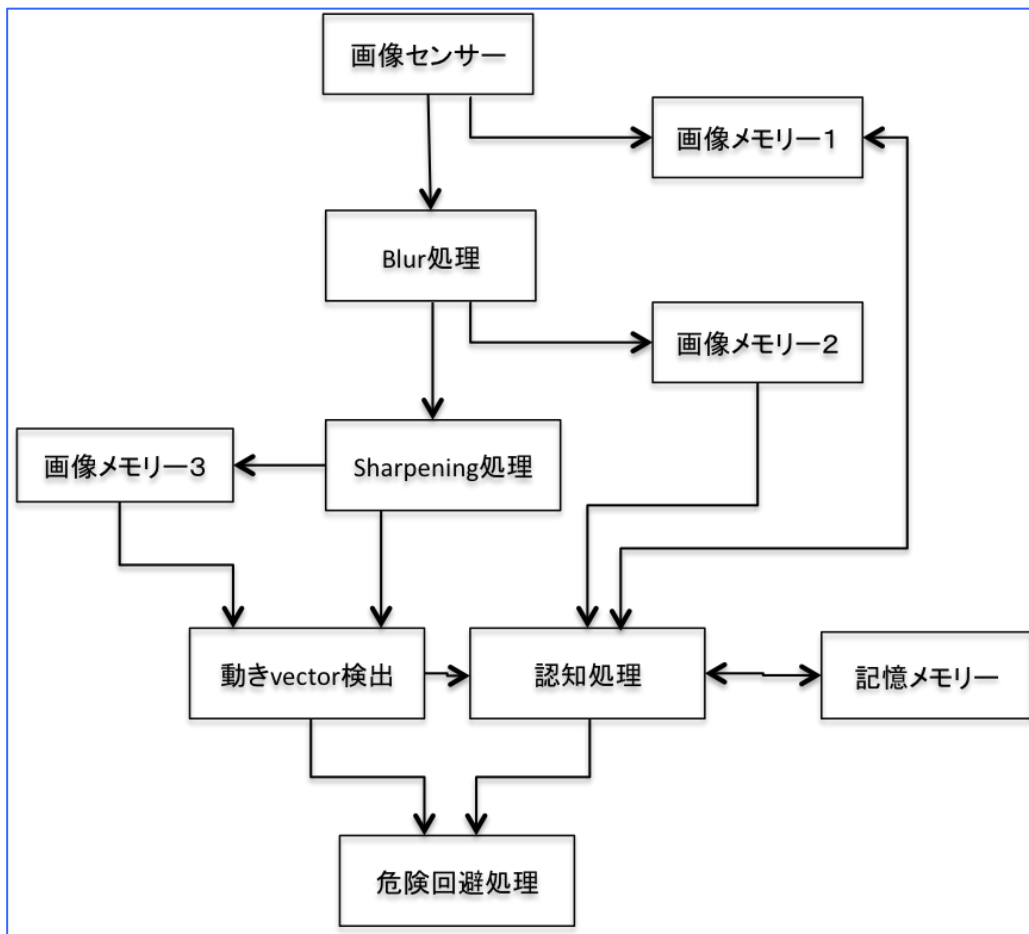


図 6.25 認知メカニズム仮説 1 と DNN 処理を組合せた高速認知システムの概略フロー

高解像度の画像センサーにより取り込まれた画像は構成ドット数が多いため、動きベクトル検出する際に、データ処理量が大きくなる。Blur 処理によってぼかしてから sharpening 処理することにより、単純図形となり処理データ量が大幅に削減される。動きベクトル検出により特定された対象物に対して、対象物が切り出されているので当初取り込まれた高解像度画像を対応エリアで認識処理をすることにより、認識処理の処理時間も大幅に削減できる。コンピューター・システムの場合、ヒトの視覚システムとは異なり、単純化された図形で衝突可能性等の危険を察知した場合、その物体が何であるかを高解像度メモリー（画像メモリー1）を用いて並行処理することが可能である。

同様に、動体の動き検出だけでなく移動体から静止物の検出、例えば信号機や横断歩道、更には車線ライン・縁石などのトラッキング検出に関しても上記の Blur & Sharpening 処理により高速処理が期待される。

6.7 おわりに

低解像度のLED表示パネルに周辺画素情報をダイナミックに表示する Cyber Vision 表示により実画素よりも解像度が上がって見えることが実験により確認された。固定カメラで撮影した場合は、平均画素表示と同一となってしまうので、ヒトの視覚システムがこの超解像を実現しているということになる。

超解像を含む視覚システムの解明はまだできていないが、高速映像に関する視覚認識という研究課題があること実験的理論的に提示できた。また具体的に今後の研究課題も提示することができた。

これらにおいて、最新の Predictive Coding 理論による錯視の研究、Blur & Sharpening による錯視の研究が大変役に立った。

第7章

7.0 結論と展望

7.1 結論

ヒトの視覚システムを用いた LED 表示システムの方式を分類し、何故そのように見えるのかを調べたいと考えて本論文の研究を行なった。ベンチャー企業を創業し商品開発を行なう当初の発想としては、ヒトの視覚システムの中でも、残像現象を用いた LED 表示システムを開発するというものであった。映画、テレビである意味残像効果を用いたシステム開発は一段落してしまっているが、まだその先があると考えていた。ところが気がついてみると単に残像ということでは説明のつかない視覚認知に基づく製品ができてきた。また従来開発されたことのない超高速フルカラー表示システムを開発することができた。この開発過程で作った技術で任意のスピードで表示可能な可変フレームレート高速表示実験システムを用いて、Cyber Vision 表示が超解像と認識されることを実験で確かめた。

ヒトの視覚システムにおける認知の仕組みに関する仮説で説明しようと試み、高速認知システムの提案を行なった。

可変フレームレート高速表示実験システムとこの研究を通して得た知見によって、ようやくヒトの視覚システムの解明及びその応用に至る入り口に立つことができた。これに感謝している。

第1章では、情報インターフェースとしてのディスプレイの可能性と残像を用いた表示方式について記した。またデジタル表示システムの中で、ベンチャー企業として開発してきた、残像効果を応用した様々な表示システムを紹介した。

第2章 時空間符号化とデジタル表示では、時空間符号化とテレビ信号の基礎理論を準備するとともに、2次元標本化により周波数構造が明確になることを示した。これが第3章のデータプレーンと表示窓プレーンとの関係による表示方式というアイデアを生むこととなった。また時空間符号化とホールド補間族の考察を行った。これが第5章の超高速表示システムを開発する原動力となる。

第3章 残像効果を用いた表示システムでは、画像データをどのような電子窓を通して表示するかという、時空間符号化した映像データからなるデータプレーンと表示窓プレーンとの関係で表示システムを捉えるアイデアで数々の開発された表示方式を分類する。

第4章 相対移動残像表示システム Time Slit の実用化では、前章で分類した一つの

表示方式である相対移動表示システム **Time Slit** の実用システムとその事業化に関して紹介する。

第5章 超高速表示システムでは、第3章の表示方式を第2章のホールド補間で発展させて、4,360fps の超高速表示システムの開発した。またその技術を応用して 1~960fps の任意のフレームレートでの表示を行う可変フレームレート高速表示実験システムを開発した。

第6章 **Cyber Vision** 表示方式による超解像と視覚システムでは、第5章で開発した可変フレームレート高速表示実験システムを用いて **Cyber Vision** 表示方式による超解像効果の確認実験を行った。また超解像効果を引き起こすヒトの視覚システムにおける認知メカニズムの検討から、簡易擬似固視微動関数による主観的超解像 **simulation** と高速認知システムの提案を行った。高速認知システムは、車の自動運転システムやロボットの視覚システム、ネット上の画像認識システム、通行人や通行車両の画像認識システムへの応用が期待できる将来性のある研究分野であると考え、そのような研究分野に展開する可能性ができた。

7.2 将来展望

本論文の研究を通して、将来の研究につながる可能性がいくつかでてきた。

超高速表示システムの開発の副産物として、可変フレームレート高速実験システムを開発した。この実験システムを用いて、**Cyber Vision** 表示方式の超解像確認実験を行うことができた。従来の表示機ではこのような高速表示ができなかった為、今後ヒトの視覚システムの解析にこの実験システムが役立っていくと考えられる。これが第1の可能性である。

超解像の確認及び検討を行っている中で、第6章の高速認知システムを提案した。超解像の解析を進める中で、固視微動、揺れ補正、動きベクトル検出、**Blur & Sharpening**, **DNN**, **predictive coding**, 錯視がキーワードとなることが分かった。これが第2の可能性である。

DNN を用いた **AI** が自動運転、ロボットの視覚システム、ネットや監視カメラの画像認識を飛躍的に進化させている。一方で **DNN** を用いた **AI** システムにおいていくつかの課題が出てきている。処理スピードの問題、教師データの選択により出来上がった **AI** システムの出来が左右される課題、更にはそのように作られた **AI** システムが閉じた世界で応用されるシステムである課題がリストアップされる。特に最後の課題は適用状況に応じては致命的な課題となる。これらの課題が次世代の **AI** システムを作る大きな可能性となる、これが第3の可能性である。

ヒトの視覚システムを用いた LED 表示システムの方式を分類し，何故そのように見えるのかを調べたいと考えて本論文に挑戦してきた．それがまた次の研究のヒントと素材を与えてくれたことに感謝している．

謝辞

本論文にまとめるに際して、宇都宮大学山本裕紹先生から終始懇切なご指導を賜りました。心より感謝を申し上げます。山本先生とステガノグラフ用LED高速表示システムの開発で出会えたことがきっかけとなり、企業経営をしながら疑問に思っていた課題に関する研究に挑戦することができました。また社会人博士課程として仕事をしながら研究するための目標設定や研究に関する考え方を学びました。先生に感謝申し上げますとともに、今回の研究で開かれた新しい研究テーマに貢献するため、今後のご指導ご鞭撻をお願いする次第です。

私は学生時に数学を専攻し有限数学の修士論文を書き上げた後、有限数学を応用した民間技術開発を行いたいと民間企業に入社し、電子楽器の開発、デジタル映像部門の立ち上げを行ないました。その後、ベンチャー企業を創業しヒトの残像効果を利用したLED表示システムの開発を行い、その技術を用いた事業を展開して参りました。ベンチャー起業家、経営者として進んでいた中で、NTTコミュニケーション科学基礎研究所西田眞也主幹研究員とお会いしたことが第1の転機となりました。「何故このように見えるのか?」、ヒトの視覚システムを研究してみたいと考えるようになりました。そして遂に、当時徳島大学の山本先生との出会いによって背中を押され、社会人博士課程の学生として実際に研究することとなりました。このような研究の機会を与えて頂いた西田先生と山本先生に大変感謝しております。

本論文の審査過程において、ご多忙にも関わらず、数々のご助言とご指導を賜りました、宇都宮大学阿山みよし先生、長谷川光司先生、湯上登先生、杉原興浩先生に感謝申し上げます。先生方から頂いたご指摘と八杉公基研究員、山本先生との議論の中から、錯視とDNN、固視微動のアイデアに至り第6章Cyber Vision超解像の解析と提案に結びつきました。ありがとうございます。

徳島大学にて研究の機会を与えて頂いた陶山史朗先生にお礼申し上げます。また研究のお手伝いを頂いている宇都宮大学博士課程の大学院生、藤井賢吾さん、森田涉吾さんに感謝します。実験に協力頂いている宇都宮大学山本研究室の皆さんに感謝します。事業の合間を縫って協力して頂いたアビックス株式会社の催立平さん、三重野貴匡さん、桐原威憲さん、熊崎友久さんを始めとする社員の皆さんに感謝します。

最後に、事業と学業の両立に協力してくれた妻と英語訳のチェックをしてくれた子供たちに感謝の意を記します。

業績

論文（査読付き論文、審査のある国際会議論文）

1. IEEE GCCE 査読付き国際会議論文 & ポスター発表で受賞
Excellent Poster Award (2nd Prize)を受賞しました。

Toyotaro Tokimoto, Kengo Sato, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto
High-frame-rate LED Display with Pulse-width Modulation by Use of
Nonlinear Clock

Published in: 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics
(GCCE)

2. JDT2014 査読付き論文

Toyotaro Tokimoto, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto
4320-Hz LED Display With Pulse-Width Modulation by Use of a Nonlinear
Clock

Published 2016 in Journal of Display Technology
Journal of Display Technology Vol. 12, Issue 12, pp. 1581-1587 (2016)

3. IDW2018 審査のある国際会議論文 & ポスター発表で受賞
Outstanding Poster Paper Award を受賞しました。

Toyotaro Tokimoto, Kengo Fujii, Shogo Morita, Hirotugu Yamamoto
A novel super-resolution display technique by use of spatiotemporal coding

論文

4. IMID2014 招待講演 Invited Speaker

Toyotaro Tokimoto

Virtual large area display by high speed controlled LED

IMID 2014 Digest

5. OPJ2018

時本豊太郎, 藤井賢吾, 森田渉吾, 山本裕紹

低密度なドット構成の LED パネルに周辺画素情報をダイナミック表示するこ

とによる超解像度表示の可能性

6. 映像情報メディア学会年次大会 2010

時本 豊太郎, 催 立平, 小籾田 一治, 佐藤 誠, 甲斐 創, 高橋 宏和, 高橋 一徳
ハイスピード LED 表示システム : スーパースロー・カメラ対応高速フレーム
レート LED 表示システム(第 6 部門 情報ディスプレイ)

2010 年映像情報メディア学会年次大会

7. 日本音響学会

時本豊太郎, 黒沢和幸

実時間音階入力楽器の試作

日本音響学会昭和 59 年度春季研究会発表会 1984/3/29

関連する論文

1. Shin'ya Nishida, Junji Watanabe, Ichiro Kuriki and Toyotaro Tokimoto:
Human Visual System Integrates Color Signals along a Motion Trajectory,
Current Biology 17, 366-372, February 20,2007 (2007)
2. 飯田直, 時本豊太郎 : QFRONT ビル 近代建築 (2000.2)
3. 高橋宏和, 佐藤誠, 甲斐創, 高橋一徳, 時本豊太郎, 催立平, 小籾田一治:
スーパースロー再生にも対応可能な高速 LED 表示システム. 民放技術報告
会, 2011 年 11 月

著作, 発表

著作

1. 2009 年 1 月 著作 かんき出版
儲けを生み出す! 魔法の映像看板
--- デジタルサイネージのすごい広告効果

発表

1. LED を応用した「ポールビジョン」の開発 1997/11/1 月刊ディスプレイ
(1997)
2. QFRONT における超大型映像技術 CyberVision Technology 2001/7/1 月刊

ディスプレイ Vol.7, No.7, pp.37-42 (2001)

3. ニュービジネス大賞を受賞したフルカラー大型映像技術 2005/1/1 月刊ディスプレイ (2005)

その他講演, パネルディスカッション

- 1995年10月 通産省「若者会社をつくろう」パネルディスカッション
11月 宇都宮商工会議所「起業家フォーラム」講演
1996年2月 横浜ベンチャーフォーラムセミナー,
「研究開発型ハイパワー企業の経営と...」
3月 横浜市立大学リカレント講座
9月 中小企業大学校創業支援セミナー 東京校他3校
12月 外務省: ガザフスタン招聘客向け
「日本のベンチャービジネス」
2012年2月 横浜市立大学 起業経営論 講演
その他、講演、パネルディスカッション多数。

その他の実績 (活動分野)

1997年2月から6月

特許庁「知的財産に関する研究・研修のあり方を考える懇談会」委員

1994年から1999年 横浜ハイテクセンター技術交流会 会長

2004年度から2005年度 横浜市 事業可能性評価委員

横浜ビジネスグランプリ審査委員

2005年度 横浜市株式公開塾 塾長

2005年度から2006年度 神奈川県 ビジネス可能性評価委員

受賞

1. 2018年12月 IDW2018 Outstanding Poster Paper Award

Toyotaro Tokimoto, Kengo Fujii, Shogo Morita, Hirotsugu Yamamoto

“A novel super-resolution display technique by use of spatiotemporal coding”

2. 2013年10月 IEEE GCCE 2013 Excellent Poster Award (2nd Prize)

Toyotaro Tokimoto, Kengo Sato, Shiro Suyama and Hirotsugu Yamamoto:
"High-frame-rate LED Display with Pulse-width Modulation by Use of
Nonlinear Clock"

1991年 ニュービジネス大賞奨励賞受賞 (1991年)

アビックス株式会社 代表取締役社長 時本豊太郎

1996年 ベンチャーオブザイヤー95 ハイテク部門受賞

アビックス株式会社 代表取締役社長 時本豊太郎

2004年 ニュービジネス大賞最優秀賞受賞 (2004年)

アビックス株式会社 代表取締役会長 時本豊太郎

代表取締役社長 熊崎友久

特許

日本特許

発明者：時本豊太郎，大石昌利 出願人：アビックス株式会社

CV

1. 複数モジュールを連結することにより大画面の透視型表示パネルを構成するための格子モジュール 特許 3756615(平 18.1.6), 特願平 09-068457 (平 9.3.21)
2. 低密度なドット構成の大画面のドットマトリクス型ディスプレイに高密度なドット構成のビットマップ画像データを表示する制御方法および表示システム 特許 3313312(平 14.5.31), 特願平 09-252372 (平 9.9.17)
3. 3原色ランプを分散配列したドットマトリクス型の表示画面にビットマップ多色画像データを表示する方法と装置 特許 3396215(平 15.2.7), 特願 2000-607198 (平 12.3.24)
4. フルカラーLEDディスプレイシステム 特許 4439648(平 14.4.5), 特願平 11-367921 (平 11.12.24)
5. 時本豊太郎, 井上亨, 大石昌利: 透明ガラス外壁の内側に外に向けた巨大画面ディスプレイを装備した高層建築物 特許 4176209(平 20.8.29), 特願平 10-305658 (平 10.10.27) 出願人+東京急行電鉄株式会社
6. 巨大画面ディスプレイを構成するルーバー構造モジュール 特許 4744658(平 23.5.20), 特願平 11-001382 (平 11.1.6)
7. 時本豊太郎, 井上亨, 大石昌利: 公衆ディスプレイ集中管理システムと連携してブラウザ付き携帯電話機に情報を提供するコンピュータシステム 特許 3886407(平 18.12.1), 特願 2002-112416 (平 14.4.15)
8. 原亜記子, 時本豊太郎, 大石昌利: スケジュール管理機能を備えた表示制御装置 特許 3957843(平 19.5.18), 特願平 09-324256 (平 9.11.26)
9. 時本豊太郎, 大石昌利, 原亜記子: 多数の公衆用ディスプレイを通信網を介して個別に管理する映像配信装置 特許 4439648(平 22.1.15), 特願平 11-367921 (平 11.12.24)
10. 時本豊太郎, 大石昌利, 保岡剛: パネル型LED表示モジュール 特許 4545281(平 22.7.9), 特許 2000-153560 (平 12.5.24)
11. 保岡剛, 時本豊太郎, 大石昌利: 表示装置 特許 3640158(平 17.1.28), 特願 2000-108074 (平 12.4.10) 出願人：日亜化学工業株式会社

<PV> 発明者：時本豊太郎，大石昌利

12. パネル型LED表示モジュール 査定なし，特願平 11-342072(平 11.12.1)
13. 追跡補間式スクロール表示方法および装置 拒絶査定，特願平 10-250052(平 10.9.3)
14. 時本豊太郎，大石昌利，原亜記子：スクロール表示方法および装置 特許 3342371(平 14.8.23)，特願平 09-286771
15. 追跡補間式スクロール表示システムおよび表示ユニット 特許 3843277(平 18.8.18)，特願 2004-214899---分割出願 origin 拒絶査定，特願平 09-197475
16. 残像補間式スクロール表示と電飾表示とを時系列に切り換えながら行う表示装置 特許 3776197(平 18.3.3)，特願平 09-068458(平 9.3.21)
17. コードレス型残像補間式スクロール表示システムと表示ユニット 拒絶査定，特願平 09-068456(平 9.3.21)
18. 自動車のリヤ表示方法および装置 拒絶査定，特願平 09-061319(平 9.3.14)

発明者：時本豊太郎

19. スクロール表示方法および装置 特許 3312097(平 14.5.24)，特願平 08-126718(平 8.5.22)
20. 間隔が局所的に異なる多数の棒状表示器の配列によってスクリーンが形成されたスクロール表示装置 特許 3810124(平 18.6.2)，特願平 08-093787(平 8.4.16)
21. 建物内部から窓越しに外部の人に向けて大画面のスクロール表示を行う方法および装置 特許 3542861(平 16.4.9)，特願平 07-292749(平 7.11.10)
22. トンネル内の情報表示装置 特許 3640445(平 17.1.28)，特願平 07-292748(平 7.11.10)

<TS> 発明者：時本豊太郎

23. n次元スキャン型広告塔装置 特許 3061780(平 12.4.28)，特願平 10-291023(平 10.10.13) --- 分割出願：origin 特願昭 63-219951
24. n次元スキャン型広告塔装置 特許 2865205(平 10.12.18)，特願昭 63-219951(昭 63.9.2)
25. 広告塔などのn次元スキャン型表示方式 特許 2868154(平 10.12.25)，特

願昭 63-219950 (昭 63.9.2)

26. スキャン型表示装置 特許 2648629(平 9.5.9), 特願平 01-210432 (平 1.8.15)
27. 山田勝久, 時本豊太郎: 速度検出型システムにおける速度修正装置及び表示装置 特許 2530386(平 8.6.14), 特許 平 02-340801 (平 2.11.30)
28. 表示装置 特許 2597752(平 9.1.9), 特願平 02-340802 (平 2.11.30) [双方向]
29. 山田勝久, 時本豊太郎: 斜交配列表示素子列構造をもつスキャン型表示装置 特許 2690169(平 9.8.29), 特願平 02-108229
30. 矢島弘史, 時本豊太郎: センサー内蔵スキャン型表示装置 拒絶査定, 特願平 02-115537 (平 2.5.1)
31. 矢島弘史, 時本豊太郎: 移動視認式表示装置 実用新案 2602643(平 11.11.12), 実願平 05-043021 (平 5.8.5)
32. 矢島弘史, 時本豊太郎: 移動視認式表示装置 特許 3304521(平 14.5.10), 特願平 05-194660 (平 5.8.5)
33. Toyotaro Tokimoto, 出願人 : Digital Underground Media Inc. 特許出願番号 : 102015005941 aparato n-dimensional de exibição de imagens por escaneamento

<WW> 発明者 : 時本豊太郎

34. スイング式表示装置 実用新案 3007664(平 6.11.30), 実願平 06-009845 (平 6.8.10)
35. スイング式表示装置 実用新案 3007438(平 6.11.24), 実願平 06-009482 (平 6.8.3)
36. 手動回転式表示装置 特許 3233311(平 13.9.21), 特願平 05-149401 (平 5.6.21)
37. 時本豊太郎, 矢島弘史: スイング式表示装置 特許 2524676(平 8.5.31), 特願平 04-331480 (平 4.12.11)
38. 時本豊太郎, 矢島弘史: 表示装置 査定無し, 実願平 04-085603 (平 4.12.14)

<A-Line> 発明者: 時本豊太郎, 大石昌利

39. 原亜記子, 大石昌利, 時本豊太郎: 線形イルミネーションシステム 特許 4480828(平 22.3.26), 特願平 11-373471 (平 11.12.28)

40. 原亜記子, 大石昌利, 時本豊太郎: 線形イルミネーション制御データ作成装置およびプログラム記憶媒体 特許 4522516(平 22.6.4), 特願平 11-351994 (平 11.12.10)
41. L E Dイルミネーション器具 特許 4083277(平 20.2.22), 特願平 10-050784 (平 10.3.3)

米国特許 US_Patent

US1: Method and apparatus for displaying bitmap multi-color image data on dot matrix-type display screen on which three primary color lamps are dispersedly arrayed

Patent number: 8085284

Abstract: A display screen comprises many pixel lamps arrayed uniformly and in a regular pattern. Pixel lamps come in three types (first- to third-color lamps), and image data to be displayed on the screen consist of bit-map type multi-colored data in which one pixel is represented by a set of three-type color data (first- to third-color data). Each color data plane on a bit-map image data plane is divided into many groups each consisting of a plurality of contiguous pixels, each group is correlated to each first color lamp on the display screen, an operation of selecting in a preset sequence first-color data of a plurality of pixels belonging to one group is repeated, and a first-color lamp correlating to each group is emission-driven according to a selected first-color data. (The same steps are followed for second- and third-color lamps).

Type: Grant

Filed: September 6, 2006

Date of Patent: December 27, 2011

Assignee: AVIX Inc.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Masatoshi Ohishi

US2: Method of displaying high-density dot-matrix bit-mapped image on low-density dot-matrix display and system therefor

Patent number: 7233303

Abstract: A method of and system for displaying high-density bit-mapped dot-matrix imaging data on a large-scale low-density dot-matrix display is disclosed. Bit-mapped image data from each of multiple and adjacently oriented dot image data groups is allocated to drive one dot of the aforesaid display. This is done through a process in which a data selection sequence standard is employed to alternately select and extract image data from each

of the aforesaid dot image data groups continually and repetitively at high speed, and in which the extracted image data from each dot image group is applied to drive one dot on the display.

Type: Grant

Filed: October 20, 2003

Date of Patent: June 19, 2007

Assignee: Avix, Inc.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Masatoshi Oishi

US3: Method and device for displaying bit-map multi-colored image data on dot matrix type display screen on which three-primary-color lamps are dispersedly arrayed

Patent number: 7187393

Abstract: A display screen comprises many pixel lamps arrayed uniformly and in a regular pattern. Pixel lamps come in three types (first- to third-color lamps), and image data to be displayed on the screen consist of bit-map type multi-colored data in which one pixel is represented by a set of three-type color data (first- to third-color data). Each color data plane on a bit-map image data plane is divided into many groups each consisting of a plurality of contiguous pixels, each group is correlated to each first color lamp on the display screen, an operation of selecting in a preset sequence first-color data of a plurality of pixels belonging to one group is repeated, and a first-color lamp correlating to each group is emission-driven according to a selected first-color data. (The same steps are followed for second- and third-color lamps).

Type: Grant

Filed: March 24, 2000

Date of Patent: March 6, 2007

Assignee: Avix Inc.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Masatoshi Ohishi

US4:

Fullcolor LED display system

Patent number: 6734875

Abstract: A system has a screen module for displaying multicolor images on a screen having orderly-arrayed first, second, and third color LEDs, and a data-sending module sending control signals and image data to be displayed. The screen module has first, second, and third color gradation-control circuits for each pixel. The data-sending module comprises: a frame memory for temporarily storing image data; an image-data transfer controller for reading out image data from the memory and outputting it with a data-transfer clock; first, second, and third color pulse-train generators for generating high-speed pulse trains to be given to each gradation-control circuit; and a pulse-train outputting means for outputting the pulse trains for each color. Each pulse-train generator generates, with a constant period, pulse trains of $2n$ pieces or a number closely therebelow, pulse intervals varying with time according to a preset characteristic.

Type: Grant

Filed: December 27, 2001

Date of Patent: May 11, 2004

Assignee: Avix, Inc.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Masatoshi Ohishi

US5: Method of displaying high-density dot-matrix bit-mapped image on low-density dot-matrix display and system therefor

Patent number: 6690341

Abstract: A method of and system for displaying high-density bit-mapped dot-matrix imaging data on a large-scale low-density dot-matrix display is disclosed. Bit-mapped image data from each of multiple and adjacently oriented dot image data groups is allocated to drive one dot of the aforesaid display. This is done through a process in which a data selection sequence standard is employed to alternately select and extract image data from each of the aforesaid dot image data groups continually and repetitively at high speed, and in which the extracted image data from each dot image group is applied to drive one dot on the display.

Type: Grant

Filed: May 21, 2001

Date of Patent: February 10, 2004

Assignee: Avix, Inc.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Masatoshi Oishi

US6: High-rise building with large scale display device inside transparent glass exterior

Patent number: 6237290

Abstract: A high-rise building with a large scale dot-matrix display device is disclosed. The glass panels arranged in rows and columns form a curtain wall structured transparent outer wall 12 extending over an exterior of a building 10. Each panel is installed apart from end portions of floor slabs to form a void space therebetween. A plurality of louver structured modules 22 are arranged within the void space in rows and columns to form a large scale display area. Each module 22 has a louver-like structure formed of a plurality of posts 24 arranged in substantially parallel relationship and a plurality of parallel, uniformly spaced beams 26 connecting said adjacent posts 24. A plurality of LED combination lamps 28 are mounted on each beam 26 at uniform pitches as those between the adjacent beams 26. The LEDs are driven by drive circuits disposed in each beam 26. The vertical guide members 44 are fixed to the end portions of the floor slabs 20.

Type: Grant

Filed: October 27, 1999

Date of Patent: May 29, 2001

Assignees: Avix Inc., Qfront Co., Ltd.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Masatoshi Oishi

US7: N-dimensional scanning type display apparatus

Patent number: 5202675

Abstract: An n-dimensional scanning type display apparatus, for use in a subway, tunnel, or places in which a conventional image display system may not be employed due to space limitations and/or the high moving speed of the observer, uses a display zone, a sensor zone, and a data forming zone to coordinate the display with the moving observer. The display zone is for

displaying a succession of images which are responsive to moving speed information and/or moving direction information of the observer. The sensor zone is for detecting the passage of the moving observer past a reference position and is for outputting movement information, such as speed and direction to the data forming zone, which data forming zone is for forming a display changeover control signal based on the movement information.

Type: Grant

Filed: May 1, 1990

Date of Patent: April 13, 1993

Assignee: Toyotaro Tokimoto

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Hiroshi Yajima

US8: Scroll display method and apparatus

Patent number: 6072446

Abstract: A definite multiple color image of a large size is scrolling displayed with a small number of light emitting cells. A physical screen which includes sixteen (16) dots in one column and thirty (30) dots in one row is formed from ten (10) light emitting cell column sets S_i (RC_i , GC_i , BC_i) connected to each other like a belt. The physical screen is regarded as an imaginary screen which includes sixteen (16) dots in one column and fifty seven (57) ($=30+3 \times 9$) dots in one row. When the red light emitting cell column RC_i in a certain light emitting cell column set S_i is controlled and driven with red data for a certain column (k) selected at intervals, the green light emitting cell column GC_i is controlled and driven with green data for an adjacent column (k+1) to the selected column (k), and the blue light emitting cell column BC_i is controlled and driven with blue data for a further adjacent column (k+2).

Type: Grant

Filed: January 6, 1998

Date of Patent: June 6, 2000

Assignee: Avix Inc.

Inventor: Toyotaro Tokimoto

US9: Scroll display method and apparatus

Patent number: 6069595

Abstract: When a large number of bar-shaped display elements are installed at a site in any of various situations, even if the distances between the bar-shaped display elements are not necessarily fixed, an image of an aspect ratio which is correct over an entire screen can be displayed without distorting the displayed image. Data distribution means includes means for storing a standard value set corresponding to a standard arrangement distance of the bar-shaped display elements B_i as an interval control variable, and means for storing a correction value set for a particular bar-shaped display element B_8 arranged in a displaced condition from the standard arrangement distance, and selectively extracts image data for one column to be distributed to each of the bar-shaped display elements B_1 to B_{10} based on the standard value and the correction value.

Type: Grant

Filed: December 10, 1997

Date of Patent: May 30, 2000

Inventor: Toyotaro Tokimoto

US10: Scan type display device with image scanning function

Patent number: 5670971

Abstract: A scan type display device has a device body carrying a light emitting cell array, in which a plurality of light emitting cell arrays are aligned on a line, for scanning aerial plane to display a desired image by residual image effect. The light emitting cells are selectively illuminated according to an image data stored in a memory in synchronism with motion of the device body. The display device also has at least one light receiving element provided on the device body in a positional relationship with the light emitting cell array in such a manner that, when an image carrying medium containing an image to be sampled is placed in close proximity to the light emitting cell array in opposition and the light emitting cells in the light emitting cell array are selectively illuminated, a reflected light from the

image carrying medium is received by the light receiving element for sampling the image on the image carrying medium.

Type: Grant

Filed: December 19, 1994

Date of Patent: September 23, 1997

Assignee: Avix Inc.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Hiroshi Yajima

US11: Manual rotation type display device

Patent number: 5548300

Abstract: A manually operated rotary type display device comprises a device body of an elongated bar-shaped configuration having a plurality of light emitting cells provided on the surface of the device body and arranged in alignment along a longitudinal direction thereof to form a light emitting cell array, an operation fulcrum member mounted on one end of the device body and rotatable about an axis perpendicular to the longitudinal direction of the device body, a rotary marker secured to the operation fulcrum member for co-rotation therewith and having at least one mark, rotation detecting means for obtaining a relative angular position information between the device body and the operation fulcrum member and rotation speed information by detecting the mark of the rotary marker, storage means for storing an image data to be displayed by rotational scanning of the light emitting cell array, and display control means for reading out the image data sequentially from the storage means in synchronism with a detection signal.

Type: Grant

Filed: December 20, 1994

Date of Patent: August 20, 1996

Assignee: Avix Inc.

Inventor: Toyotaro Tokimoto

US12: Swing type aerial display system

Patent number: 5406300

Abstract: A swing type aerial display system is adapted to aerially display a desired visual image utilizing a residual image effect of a moving light emitting array. In order to establish synchronization of the motion of said moving light emitting array and illuminating timing of individual cells in the light emitting array, the motion behavior of the system is monitored and timing to drive each individual cell is controlled in relation to the monitored motion behavior of the light emitting array, so that the desired image becomes visible at a desired position and desired configuration.

Type: Grant

Filed: December 11, 1992

Date of Patent: April 11, 1995

Assignee: AVIX, Inc.

Inventors: Toyotaro Tokimoto, Hiroshi Yajima

文献

1. 時本豊太郎, 熊崎友久: 儲けを生み出す! 魔法の映像看板---「デジタルサイネージ」のすごい広告効果。 かんき出版 2009年1月22日 (2009)
2. 名和小太郎: コピーライト,そしてコモンセンス 一世紀前のニューメディア論 (上). 情報管理 Vol.46 No.5 August (2003)
3. 末松安晴: 情報通信技術のキーデバイスに発展した電子映像表示 ~高柳健次郎によるテレビジョン開拓期の初の「イ」の字のブラウン管電子映像表示とその影響, 映像メディア学会誌 Vol.59, No.11 (2005)
4. 有松道輔: 科学万博つくば'85の会場計画, 人間工学, Vol.19, No.3, (1983)
5. 国際科学技術博覧会 URL:
<https://howlingpixel.com/ija/%E5%9B%BD%E9%9A%9B%E7%A7%91%E5%AD%A6%E6%8A%80%E8%A1%93%E5%8D%9A%E8%A6%A7%E4%BC%9A>
6. 大越明男, 島田聡, 北村信夫, 渡辺祐司, 遠藤泰之, 中川英明, 鶴田紘治, 鹿倉邦雄, 前田波雄, 水梨勲: 高輝度発光素子 ジャンボトロン: 巨大画面ディスプレイ, テレビジョン学会技術報告, IPD94-6, VVI68-6, IPA76-6 (1985)
7. 望月久仁子, 飯田健二, 奥野邦弘: 高輝度放電管大型映像表示装置“アストロビジョン”, National Technical Report, 巻 38 号, pp436-442 (1992)
8. 森田俊二, 寺崎信夫, 岩田修司, 前嶋一也, 原善一郎: 世界初屋外フルカラー映像表示装置「オーロラビジョン」を立ち上げ, 最先端を走り続ける技術, 映像メディア学会誌, Vol.60, No.7, pp1024-1028 (2006)
9. 中村修二, 日亜化学工業: 半導体結晶膜の成長方法, 特許第 2628404 号 (filed date: 1990)
10. 山田範秀: 可視光LEDの高能率化, 応用物理, 第68巻, 第2号, pp.139-145 (1999)

WaveWriter 特許

11. 時本豊太郎, 矢島弘史: スイング式表示装置, 特許 2524676 (1992)
12. T. Tokimoto, H. Yajima: Swing type aerial display system, US5406300
13. 矢島弘史: 画像読み取り機能を備えたスキャン式表示装置, 特許 3526634 (1994)
14. T. Tokimoto, H. Yajima: Scan type display device with image scanning function, US5670971
15. T. Tokimoto, H. Yajima: Scan type display device with image scanning function, CN1094620

RoundSlit 特許

16. 時本豊太郎, 矢島弘史: 表示装置, 特願平 1-35844 (1989)
17. 矢島弘史, 時本豊太郎: 光ロータリーコネクタ, 実願平 6-23011(1994)

TimeSlit 特許

18. 時本豊太郎: n次元スキャン型広告塔装置, 特許 2865205 (特願昭 63-219951)
19. T.Tokimoto: N-dimensional scan type display system and stu apparatus, EP19890909871
20. T.Tokimoto: N-dimensionale anzeigeanordnung von abtastungstyp und great, DE1989627881

21. T.Tokimoto: n 차원 스캔형 표시방식 및 장치, KR900070778A
22. T.Tokimoto, H. Yajima: US5202675 N-dimensional scanning type display apparatus
23. 時本豊太郎: 広告塔などの n 次元スキャン型表示方式, 特許 2868154 (特願昭 63-219950)
24. 時本豊太郎: n 次元スキャン型広告塔装置, 特許 3016718 (特願平 11-190981) 特願昭 63-219951 分割特許
25. 時本豊太郎: スキャン型表示装置, 特許 2648629 (特願平 01-210432)
26. 山田勝久, 時本豊太郎: 斜交配列表示素子列構造をもつスキャン型表示装置, 特許 2690169 (特願平 02-108229)
27. 時本豊太郎: 表示装置, 特許 2597752 (特願平 02-340802)
28. 山田勝久, 時本豊太郎: 速度検出型システムにおける速度修正装置及び表示装置, 特許 2530386 (特願平 02-340801)
29. 矢島弘史, 時本豊太郎: 移動視認式表示装置, 特許 3304521 (特願平 05-194660)
30. 矢島弘史, 時本豊太郎: 移動視認式表示装置, 実登 2602643 (実願平 05-043021)

PoleVision 特許

31. 時本豊太郎: スクロール方法および装置 【PV RGB 混色】, 特許 3312097 (特願平 08-126718)
32. T. Tokimoto: "Scroll display method and apparatus", US patent 6072446 (filed: January 6, 1998).
33. 矢島弘史: スクロール表示方法および装置, 特許 2802049 (優先権主張番号: 特願平 06-260139, 出願番号: 特願平 07-119732)
34. ジョンロス: 図形表示装置 特願昭 52-113129, 審査請求未請求

第2章

35. 吹抜敬彦: "画像のデジタル信号処理" 日刊工業新聞社 (昭和 56 年, 1981)
36. 阿知葉, 宮田: "NTSC カラーテレビジョン信号の 2 次元周波数スペクトラムの解析", 信学論誌, Vol.63B, No.2, pp.170-172 (昭和 55-2, 1980)
37. P. Mertz, F. Gray: "A Theory of scanning", Bell Syst. Tech. J., Vol.13, pp.464-515 (July 1934)
38. テレビジョン学会: "特集「視覚と画像」", テレビ誌, vol.33, No.12, pp.952-1051 (昭和 54-12, 1979)
39. 坂田, 磯野: "視覚における色度の空間周波数特性", テレビ誌, Vol.31, No.1, p29 (昭和 52-1, 1977)
40. A. Watanabe et al.: "Spatial sine-wave response of the human visual system", Vision Res., vol.8, pp.1245-1263 (1968)
41. 宮原 誠: "動きの視覚特性から検討したテレビ信号帯域圧縮", 信学論誌, vol.56A, No.2, pp.104-112 (昭和 48-2, 1973)
42. 米山政秀: "モノカラー再生系における空間処理 I", テレビ誌, vol.27, No.4, pp.252-259 (昭和 48-4, 1973)
43. 吹抜敬彦: "単管カラーカメラ、カラー画像記録のための 2 次元カラー多重化の方式", 昭和 46 TV 全大, No. 4-4 (1971)
44. R.D.Kell: "Color Television Camera", 米国特許 No.2733291 号

45. 吹抜敬彦：“カラーテレビジョン信号の合成と分離”，テレビ誌, vol.33, No.4, pp.271-276 (昭和 54-4)
46. J.P. Rossi: “Color decoding a PCM NTSC television signal”, J.SMPTE, vol.83, No.6, pp.391-392 (June, 1974)
47. 橋本,川西,松岡:”NTSC信号デジタル分離の一検討”，昭和52信学総大, No.946 (昭和 52-3)
48. 阿知葉、石倉：“静止画 NTSC 信号のフィールド間補間サブナイキスト標本化方式” テレビ誌, vol.34, No.6, pp.498-503 (昭和 55-8)
49. 阿知葉、石倉：“NTSC カラーテレビジョン信号の 1.5fsc によるサブナイキスト標本化とその 2 次元周波数による解析”，信学論誌, vol.63B, No.6, pp. 581-588 (昭和 55-6)
50. 吹抜、三木、他:”TV 信号の周波数インタリーブ標本化の実験(NTSC 色副搬送波による)”，テレビ全大, No.2-11(昭和 48-6)

第 3 章

51. Shin'ya Nishida, Junji Watanabe, Ichiro Kuriki and Toyotaro Tokimoto: Human Visual System Integrates Color Signals along a Motion Trajectory, Current Biology 17, 366-372, February 20,2007

第 4 章

52. T.Tokimoto, 出願人 Digital Underground Media Inc. : aparato n-dimensional de exibição de imagens por escaneamento (Brasil 特許出願番号 102015005941 (2015))

第 5 章：第 6 章に記述

第 6 章

CyberVision 特許

53. 時本豊太郎,大石昌利：特許 3313312 低密度なドット構成の大画面のドットマトリクス型ディスプレイに高密度なドット構成のビットマップ画像データを表示する制御方法及び表示システム (filed day: 1997.9.17)
54. T. Tokimoto, M. Ohishi, “Method of displaying high-density dot matrix bit mapped image on low-density dot-matrix display and system therefor”, US patent 6690341 (filed: May 21,2001).
55. 時本豊太郎,大石昌利：特許 3294597 フルカラーLED ディスプレイシステム (filed day: 2000.3.24)
56. T. Tokimoto, M. Ohishi, “Fullcolor LED display system”, US patent 6734875 (filed: December 27,2001).
57. 時本豊太郎,大石昌利：特許 3396215 3原色ランプを分散配列したドットマトリクス型の表示画面にビットマップ多色画像データを表示する方法と装置 (filed day: 2000.3.24)
58. T. Tokimoto, M. Ohishi, “Method and device for displaying bit-map multi-colored image data on dot matrix type display screen on which three-primary-color lamps are dispersedly arrayed”, US patent 7187393 (filed: March 24,2000).

先行研究1 : Blur & Sharpening

59. Stephen T. Hammett: Motion Blur and Motion Sharpening in the Human Visual System, *Vision Res.*, Vol. 37, No. 18, pp. 2505-2510, (1997)
60. V. S. Ramachandran, V. Madhusudhan Rao & T. R. Vidyasger: Sharpness constancy during movement perception. *Perception*, 3, 97-98, (1974).
61. P. J. Bex, G. K. Edger & A. T. Smith : Sharpening of drifting, blurred images. *Vision Research*, Vol. 35, 2539-2546, (1995).
62. H.B. Barlow: Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities. *Journal of Physiology (London)*, 141, 337-350, (1958)
63. G. E. Leggi: Sustained and transient mechanisms in human vision: temporal and spatial properties. *Vision Research*, Vol. 18, 69-81, (1978)
64. D. C. Burr: Motion Smear. *Nature*, Vol. 284, 164-165, (1980)

<矢印の錯視>

65. TV program 「又吉直樹のへウレーカ」NHK Eテレ2018/7/14放送, K Sugihara: Skelton Dislocation Model for Geometric Optical Illusions. (in preparation for submission)
66. R.L. Gregory: Eye and Brain. McGraw-Hill, New York, (1966)
67. A. Okabe, B. Boots, K. Sugihara and S.N. Chiu: Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. Second Edition, John Wiley and Sons, (2000)
68. H. Sakai and K. Sugihara: Stable and topology-preserving extraction of medial axes. Proceedings of the 3rd International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering. Banff Center, July 2-5,2006, pp.40-47, (2006)

<蛇の錯視>

69. Eiji Watanabe, Akiyoshi Kitaoka, Kiwako Sakamoto, Masaki Yasugi and Kenta Tanaka: Illusory Motion Reproduced by Deep Neural Networks Trained for Prediction. *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, Article345, pp.1-12, March 2018

<Predictive Coding>

70. R. P. Rao and D. H. Ballard: Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature Neuroscience* vol.2, No.1, pp.79-87, Jan. 1999
71. K. Friston and S. Kiebel: Predictive coding under the free-energy principle. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 364, 1211-1221, (2009)

72. S. Shipp: Neural elements for predictive coding. *Front. Psychol.* 7:1792, 2016
 73. W. Lotter, G. Kreiman and D. Cox: Deep predictive coding networks for video prediction and unsupervised learning. *ArXiv* 1605.08104, May 2016
 74. C. E. Notredame, D. Pins D. Deneve and R. Jardri: What visual illusions teach us about schizophrenia. *Front. Integr. Neuroscience* 8:63, August 2014.
 75. M. M. Nour and J. M. Nour: Perception, illusions ad Bayesian inference. *Psychopathology* 48(4), pp217-221, August 2015.
 76. R. Raman and D. Sarkar: Predictive coding: a possible explanation of filling-in at the blind spot. *PLoS One* 11:e01511194, (published: March 9, 2016)
 77. E. Watanabe, W. Matsunaga and A. Kitaoka: Motion signals deflect relative positions of moving objects. *Vision Res.* 50, pp2381-2390, (2010)
 78. G. Edwards, P. Vetter, F. McGruer, L. S. Petro and L Muckli: Predictive feedback to V1 dynamically updates with sensory input. *Sci. Rep.* 7, 16538, (2017)
 79. R. VanRullen: Predictive Coding and Neural Communication Delays Produce Alpha-band Oscillatory Impulse response Functions. *Conference on Cognitive Computational Neuroscience*, (2017)
 80. クリスフリス Chris D. Frith : 心をつくる---脳が生みだす心の世界. 岩波書店, (2009)
- ****固視微動 A
81. 金子寛彦 : 固視微動, 映像情報メディア学会誌 Vol.63, No.11, pp.1538-1539, (2009)
 82. Q&A 固視微動とは何ですか? NTT技術ジャーナル 2004.10 pp60-61 (2004)
 83. Susana Martinez-Conde, Stephen L. Macknik, Xoana G. Troncoso and Thomas A. Dyar: Microsaccades Counteract Visual Fading during Fixation. *Neuron* 49, 297-305, January 19, 2006
 84. I. Murakami: Correlations between fixation stability and visual motion sensitivity. *Vision Research* 44 pp751-761, (2004)
 85. 鈴木一隆, 豊田晴義 : インテリジェントビジョンシステム(IVS)を用いた高速・高精度眼球運動計測装置の開発と評価. 映像情報メディア学会誌 Vol.61, No.12, (2007)
 86. R. H. S. Carpenter: *Movements of the Eyes.* (London: Pion) 124-138, (1988).
- **** 固視微動 B

87. 鵜飼一彦：眼球運動の種類とその測定. 光学, 第23巻, 第1号 (1994)
88. 北澤茂：眼を動かしても世界が動かないのはなぜか. ライフサイエンス領域融合レビュー, 4, e012, (2015)
89. 顧力剛, 坂本和義：固視微動(フリック)によるVDT作業の視覚疲労評価に関する研究. 人間工学 Vol.32, No.2, pp.87-97, (1996)
90. 丸山大岳, 斎藤雄太, 山田光穂：注視中の固視微動の分散と注意度についての基礎的検討. 情報処理学会 第15回情報科学技術フォーラムFIT2016予稿集第3分冊 pp167-172, (2016)
91. 大野健彦：視線から何がわかるか---視線測定に基づく高次認知処理の解明. Cognitive studies, Vol.9, No.4 pp.565-579, Dec. 2002
92. 三村治：固視微動の解析, 臨床神経眼科学, メディカル葵出版, pp.286-287, (2004)
93. 鈴木一隆：高速・高精度光センシング技術を用いた眼部の無意識な動きの定量化技術の開発とその事業化に関する研究. 光産業創成大学院大学 光産業創成研究科, 博士論文 平成28年2月5日 (2016)

<固視微動1/fゆらぎ, ガウシアンフィルター>

94. 徳留健, 小濱剛, 吉川昭, 吉田 久 固視微動の確率的振る舞いを再現する数学モデル. 映像情報メディア学会技術報告 ITE TechnLical RepDrt Vol. 39, No . 11, 111201-550, 3DIT2015 -16, Mar 2015.
95. 吉松浩, 山田光穂：水平両眼固視微動のドリフト成分のフラクタル次元解析. テレビジョン学会誌 Vol.49, No.8, pp.1042-1051, (1995)
96. R. Engbert, K. Mergenthaler, O. Sinn & A. Pikovsky: An integrated model of fixational eye movements and microsaccades. PNAS, Vol.108, No.39, E765-E770, (2011)
97. 寺西正晃, 齋藤兆古：エネルギー変換現象時における1/fゆらぎ特性の可視化, 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告. 20, pp.73-77, (2007)

高速表示システム

98. T. Tokimoto, S. Suyama, and H. Yamamoto: 4320-Hz LED Display With Pulse-Width Modulation by Use of a Nonlinear Clock. J.Display Tech. 12(12), 1581 – 1587, (2016)
99. T.Tokimoto, K.Sato, S.Suyama, H.Yamamoto: High-frame-rate LED display

with pulse-width modulation by use of nonlinear clock 2013 IEEE 2nd GCCE 1-4, Oct. 2013

100. 山本裕紹： 高輝度高速フレームレートLEDディスプレイの開発と応用
Japanese journal of optics 42(8):2013.8 p.413-419, (2013)
101. H. Yamamoto, M. Tsutsumi, R. Yamamoto, K. Kajimoto and S.Suyama:
Development of high-frame-rate LED panel and its applications for stereoscopic
3D display. Proc. SPIE, 7956, (2011) 79560R.
102. H. Yamamoto, S. Farhan, S. Motoki, and S. Suyama: Development of 480-fps
LED display by use of spatiotemporal mapping. Proc. Of 2012 IEEE Industry
Applications Society Annual Meeting, 2012-ILDC-259, (2011)
103. S. Farhan, S. Suyama, and H. Yamamoto: Hand-Waving Decodable Display
by Use of a High Frame Rate LED panel. IDW'11, vol.3, pp.1983-1986, (2011)

< 自動運転 >

104. 自動運転車の視覚を強化 車載向けと汎用品が競う. Nikkei Electronics 2017.01,
45, (2017)
105. 三竹保宏： AI画像解析の大幅な向上の社会的インパクト. ビジネスコミュニケーション
2018, Vol.55, No.10, pp16-17, (2018)