

# 論文賞贈呈

(写真：敬称略)

論文賞（第 70 回）は、平成 24 年 10 月から平成 25 年 9 月まで本会和文論文誌・英文論文誌に発表された論文のうちから下記の 12 編を選定して贈呈した。

## Secret Sharing Schemes Based on Linear Codes Can Be Precisely Characterized by the Relative Generalized Hamming Weight

(英文論文誌 A 平成 24 年 11 月号掲載)



受賞者 栗原 淳



受賞者 植松友彦



受賞者 松本隆太郎

喜安善市賞（第 7 回）に別掲



## A 128-bit Chip Identification Generating Scheme Exploiting Load Transistors' Variation in SRAM Bitcells

(英文論文誌 A 平成 24 年 12 月号掲載)



受賞者 奥村俊介



受賞者 吉本秀輔



受賞者 川口 博



受賞者 吉本雅彦

秘密情報の不法な複製を防ぐために IC チップ固有の ID が多くの高信頼アプリケーションで用いられている。例として、RFID タグや、偽造チップを判別するチップ認証、回路の IP (Intellectual Property) プロテクション等にチップ ID が使用され、高信頼アプリケーションにおいてチップ固有のデータが必要となる。チップ ID を生成する従来手法として、レーザヒューズや ROM への書込みなどが挙げられる。しかし、これらの手法は製造時に追加の工数やコストが発生するという問題がある。また、Physical Unclonable Function (PUF) はチップ固有であるトランジスタのしきい値電圧ばらつきを利用した ID 生成手法として提案されている。PUF によって生成される ID は意図的に生成できるものではないため、製造前には予測不可能である。したがって、PUF による ID は異なるチップによって再現することは不可能となる。本論文では ID 生成手法として SRAM

を用いた PUF 回路を提案している。

本論文で提案するチップ ID 生成手法は、多くのチップに搭載されている SRAM 回路を用いた手法である。従来の SRAM を用いた PUF は電源昇圧時に SRAM セルに記録されるデータをチップ固有の ID として利用する手法であり、記録されるデータはメモリセルを構成するトランジスタ間のしきい値電圧差によって決定する。しかし、従来の手法において、一度電圧を印加すると再び ID を生成するためには長時間のスタンバイ時間が必要となる。これは SRAM セルに記録された過去のデータが内部ノード内に僅かに残っており、再度電源電圧を昇圧した際に生成される ID へ影響を与えるためである。本論文では電源を印加した状態のまま、SRAM を用いて繰り返し ID を生成することが可能な手法の提案を行っている。書き込み回路とメモリセルの電源線への追加回路を用い、ID 生成のための制御を行うことによって、メモリセル内のしきい値電圧差をより反映した値を ID として保存可能となる。また、提案 ID 生成手法は、従来の SRAM を用いた ID 生成手法と比較し、消費電力の削減を実現している。

本論文は、多くの IC に搭載されている SRAM を利用した PUF において、低電力化と高信頼な ID 生成技術を実現しており、高く評価できる内容である。



## Image Recovery by Decomposition with Component-Wise Regularization

(英文論文誌 A 平成 24 年 12 月号掲載)



受賞者 小野峻佑



受賞者 宮田高道



受賞者 山田 功



受賞者 山岡克式

雑音、ぼけ、画素欠落等によって劣化した観測画像から原画像を推定する問題は画像復元問題と呼ばれ、ディ

ジタルカメラ画像処理、医用画像処理、天体画像処理、リモートセンシング等の広範な応用分野で不可欠な課題となっている。近年、原画像に関する様々な先験的特徴を画像復元に柔軟に活用するために、必ずしも微分可能でない凸関数の最適化問題を解法指針とするアプローチが注目されている。最適解として良好な復元画像を獲得するには、観測画像に対する整合性を評価する凸関数とともに、各々の先験的特徴に対する整合性を評価する凸関数（正則化項と総称される）を周到に設計し、これらの総和を最小化するアルゴリズムを実現することが肝要である。ところが、従来提案されてきた画像復元法の多くは、画像全体の平滑化を促進させる正則化項（例：画素値の全変動量）を採用してきたため、本来滑らかでない精細情報の復元性能が犠牲になっていた。

本論文では、従来法の弱点を解消するために、まず、画像を特徴的な 3 成分（滑らかな成分、エッジ成分、テクスチャ成分）の線形和としてモデル化し、3 成分の組を画像の直積空間のベクトルとして表現するアイデアを示している。次に全変動量と 2 種類のフレーム変換係数の絶対値和を用いて「各成分の先験的特徴との整合性」と「3 成分の和と観測画像の間の整合性」を同時に促進する目的関数を設計し、「3 成分の推定問題」を直積空間上の凸最適化問題に帰着させることに成功している。更に、この最適化問題が交互方向乗数法 (ADMM) を用いて解決できることを明らかにしている。

数値実験結果は、ぼけ除去や圧縮センシング等の問題設定において、提案法が「滑らかな成分の平滑化と精細な成分の高精度復元の両立」を達成し、従来法に比べ、復元性能を大きく向上させていることを示している。

以上のように、本論文は、斬新な発想で優れた画像復元法を実現している。いずれの議論も極めて明快であり、本会論文賞にふさわしい論文として高く評価できる。



## ウェーブレット解析に基づく 伝搬損推定モデルの精度評価法

(和文論文誌 B 平成 24 年 10 月号掲載)



受賞者 今井哲朗

携帯電話に代表される移動通信システムは、1960 年代後半に奥村氏により提案された電波伝搬に関するコンセプトを基に設計されている。本コンセプトは移動局の移動に伴う受信電力の変動に対するものであり、具体的には受信電力の変動を空間的なスケールにより、瞬時値変動：数十波長の短い区間（短区間）内で観測される瞬時値の変動，短区間中央値変動：数十～100 m 程度の区間（長区間）内における瞬時値の短区間内中央値の変動，長区間変動：短区間中央値の長区間内中央値の変動，に分類してモデル化するものである。ここで，伝搬損推定とは受信電力の変動を推定するものであるが，主な対象は移動通信システムの無線回線設計やセル設計（基地局の配置設計）において必須となる長区間変動であり，その推定モデルの代表が奥村・秦式である。

現在，移動通信システムはスマートフォンの普及等によりトラフィックが激増しており，システム容量を増やすために小セル化が進められているとともに，より綿密なセル設計が求められている。すなわち，伝搬損推定には長区間変動とともに短区間変動特性をも対象とするモデルが必要となる。そこで，これまでに多くの新たなモデルが提案されてきた。しかし，それぞれのモデルは前提とする“短区間”の定義がまちまちであることから，それらの優劣を一律に評価するのはこれまで極めて困難であった。

本論文は，奥村氏以来続いてきた“受信電力変動は空間的なスケールにより分類してから評価する”という前提を見直し，“受信レベル変動は空間的なスケールに対して連続性をもって評価する”と評価に対するコンセプトを大きく変換している。また，本論文の提案法は，対象とする伝搬損推定モデルの推定精度を“推定可能とする空間的な分解能”とともに評価できる点が大きな特徴である。これはモデルの“実際のセル設計における綿密さの限界”を明確化できることを意味しており，実際のセル設計において極めて重要な情報となる。

以上のように，本論文は独創性と実用性に優れ，その価値は高く評価できる。

## Bitwise Operation-Based In-Network Processing for Loss Tomography

(英文論文誌 B 平成 25 年 2 月号掲載)



受賞者 松田崇弘



受賞者 滝根哲哉

通信ネットワークのモニタリング技術はネットワーク管理・設計を行う上で重要である。モニタリングの効率的な実現手法としてネットワークトモグラフィーがある。これは，ネットワークの端点に存在するノード間で転送されたパケットから得られるエンド-エンド間の通信品質から，ネットワーク内部の通信品質を推定する手法である。本論文では，リンクごとのパケット紛失率を推定するためのネットワークトモグラフィー技術について検討している。ネットワークトモグラフィーはエンド-エンドの通信品質とリンクごとの通信品質との線形連立方程式により定式化される。しかし，多くの場合，エンド-エンド間のコネクション数よりリンク数の方が多い不良設定問題となり，リンクごとの通信品質を一意に推定できない。

この問題の解決手法としてネットワーク符号化を使った手法が提案されている。ネットワーク符号化は中継ノードにおけるパケットの符号化技術であり，ネットワークトモグラフィーに応用した場合，任意の有向非循環グラフでネットワークトモグラフィーを実現できるだけでなく，ネットワーク内を流れるパケット数を削減することができる。しかし，有限体で定義される線形ネットワークコーディングを用いた場合，ネットワーク規模に応じて有限体の要素数を大きく設定しなければならない。

本論文では，中継ノードの新たな符号化方法を用いたネットワークトモグラフィーを提案している。本手法では，各パケットに記述される符号化情報は全経路数分のビット列で表現され，符号化は符号化情報内のビットごとの演算により実現される。これにより大規模有向非循環グラフ上でのネットワークトモグラフィーを簡易な演算により実現できる。本論文では更に，符号化情報からリンクごとのパケット紛失率推定のためのゆう度関数を導出する手続きについても述べられている。

提案手法はアイデアとして斬新だけでなく，符号化をビット演算で実現するため，より実現性の高い手法である。また，論文の内容は理論的ではあるが，分野の異なる研究者にも理解しやすいように例を交えて丁寧に記

述されている。以上により、本論文は学術的にも実用面でも優れており、論文賞としてふさわしい。



## Path Loss Model with Low Antenna Height for Microwave Bands in Residential Areas

(英文論文誌 B 平成 25 年 7 月号掲載)



受賞者 佐々木元晴



受賞者 山田 渉



受賞者 北 直樹



受賞者 杉山隆利

本論文は、マイクロ波帯における低アンテナ高伝搬損推定モデルに関して報告している。近年、端末間における干渉検討や、スモールセルを代表とするセルの狭小化に伴い、低アンテナ高環境における検討が重要視されている。

低アンテナ高環境における伝搬損モデルの先行研究として、都市部の低アンテナ高基地局に着目したストリートマイクロセル環境のモデルが報告されている。このような環境では、電波は周囲の大きな建物に遮蔽されるため、道路沿いの伝搬経路のみが支配的となる。そこで、道路に沿った距離減衰などを用いた伝搬損モデルが複数提案されている。ところが、これらのモデルで考慮しているのは直角に曲がる道路形状など、ストリートマイクロセル環境に特有の領域のみである。そのため、ゆるやかにカーブする道路などが多数存在する住宅地環境への適用は難しい。また、小さな建物が多い住宅地環境では道路沿いの伝搬経路以外に様々な経路が伝搬損に影響する。更に、送受が常に入れ替わる端末局間における伝搬損モデルでは、送受の向きに推定結果が依存しない、すなわち可逆性が成立していることが不可欠である。

本論文のモデルは、これらの問題点を鑑み、複数の測定結果を基に注意深く構築されている。著者らはまず到来波の角度分布測定と、アンテナ高を連続的に変化させ

る測定により、複雑な伝搬環境の中から支配的な三つの伝搬経路を明らかにしている。3経路とはすなわち、ストリートマイクロセル環境と同様の道路沿い伝搬経路、建物間を通る建物間伝搬経路、建物の上を伝搬する屋根越え伝搬経路の3経路である。更に、これらの経路について幅広い周波数で伝搬測定を行い、道路状況、建物高、建物密度といったパラメータを考慮可能であるとともに、可逆性を満たした伝搬損モデルを構築している。これにより、本論文で提案されたモデルは様々な建物環境に適応可能なだけでなく、マイクロ波帯の幅広い周波数で適用可能であり、高い汎用性を有している。

以上のことから、本論文は今後ますます重要になると予想される低アンテナ高環境における伝搬検討の基礎となる論文として評価でき、本会論文賞にふさわしい高い価値を持っている。



## MgO:LiNbO<sub>3</sub> 周期分極反転構造電気光学 ブラッグ偏向型一次元空間光変調器

(和文論文誌 C 平成 25 年 4 月号掲載)



受賞者 井上敏之



受賞者 栖原敏明

本論文では、レーザディスプレイやレーザ描画装置等への応用を目指した、新たな MgO 添加 LiNbO<sub>3</sub> 周期分極反転構造電気光学ブラッグ偏向型光変調器を用いた一次元空間光変調器が実証されている。

電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の構成及び設計について述べられ、高画素密度を実現するために満たすべき画素電極サイズ、電極ギャップ幅、分極反転周期等の条件について考察がなされている。分極反転周期を適切に決定すると画素間隔を小さくでき、画素密度を大きくできることが明らかにされている。MgO 添加 LiNbO<sub>3</sub> 周期分極反転構造の作製方法、及び変調器作製方法が示され、変調器の基本単位（一次元空間光変調器における 1 画素分）の変調特性の評価が行われている。青紫色レーザ光変調時に顕著な緩和現象が生じ、周期分極反転構造形成後に 600℃ の酸素雰囲気中で 2 時間結晶アニーリングを施すことにより緩和現象が低減できることが独自に見いだされている。青紫色レーザ光変調にお

いて最大回折効率 97% が達成され、理論効率 100% に非常に近い高効率を得られている。また MgO 添加 LiNbO<sub>3</sub> 電気光学ブラッグ偏向型光変調器を用いた紫外レーザー光の強度変調が初めて実証されている。更に、一次元空間光変調器のプロトタイプ之作製が行われ、回折光の一次元光強度パターン生成に成功している。

以上のように、本論文では MgO 添加 LiNbO<sub>3</sub> 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の設計・作製・評価について非常に綿密に論じられているだけでなく、将来のディスプレイや描画装置等への応用可能性を示す良好な結果が得られており、論文賞にふさわしい成果であると言える。



### 磁気共鳴型無線電力伝送に対する 高速人体数値ドシメトリ解析

(和文論文誌 C 平成 25 年 6 月号掲載)



受賞者 土田昌吾 受賞者 ラークソ イルッカ 受賞者 平田晃正

無線電力伝送の実用化に向けた動向に注目が集まっている。無線電力伝送において使用が検討される周波数帯は複数存在するが、その一つとしてメガヘルツ帯が挙げられる。本周波数帯の無線電力伝送システムで想定される最大伝送電力はキロワット級であり、従来の無線通信等で用いられている電波の電磁界強度に比べて大きい。そのため、無線電力伝送システムから生じる電磁界により、人体に吸収される単位質量当りの電力（比吸収率、SAR）を評価し、電波防護ガイドラインにおける基準値との適合性を確認することに関心が寄せられている。しかしながら、メガヘルツ帯において体内に吸収される電力を解析的に評価する技術は未成熟であり、多大な時間を要する。また、当該周波数帯では、測定に基づく評価法も存在しない。

本論文は、メガヘルツ帯磁気共鳴方式無線電力伝送システムから生じる電磁界により、体内吸収電力を高速に推定する電磁界シミュレーションを開発し、適合性評価に適用したものである。具体的には、磁気共鳴方式無線電力伝送システムによる SAR は、主に外部磁界の寄与によるものであり、外部電界の影響は軽微であることを

示している。この知見に基づき、外部磁界による体内吸収電力を解析するための手法であるスカラポテンシャル有限差分法を適用、かつその連立一次方程式の反復解法として幾何多重格子法を導入することを提案した結果、従来手法に比べて最大で 300 倍の高速化が可能であることを示している。開発した手法を用いて、異なる人体モデル、様々なばく露条件に対する検討を行い、磁気結合コイルを人体胸部正面に配置した場合に SAR が最大となり、その理由は人体モデルの断面積が大きく、モデルを実効的に通過する磁束が最大となる場合に相当することを明らかにしている。

本論文は、メガヘルツ帯無線電力伝送システムにおける SAR 評価に対し、高速かつ簡易なばく露評価を実現する電磁界シミュレーション技術を考案し、かつ最悪のばく露条件に関する知見を示している。これらの成果は、無線電力伝送システムの安全性評価に一つの指針を与えるものであり、今後のシステム実用化、国際標準化への多大な貢献が期待され、論文賞にふさわしい成果である。



### 対表面照射型比感度 12.7 倍 1670 万枚/秒 31 万画素裏面照射型超高速 CCD 撮像素子

(和文論文誌 C 平成 25 年 7 月号掲載)



受賞者 新井俊希 受賞者 米内 淳 受賞者 林田哲哉  
受賞者 大竹 浩 受賞者 バン クイク ハリー 受賞者 江藤剛治

肉眼では捉えられない一瞬の現象を鮮明に撮像することができる超高速カメラの開発が行われている。これらの超高速カメラは、高速現象を撮像しスローモーション映像として再生することができるので、スポーツ中継や科学番組など様々な場面で放送番組に使用されている。これまでに著者らは、最高撮像速度 200 万枚/秒の 30

万画素超高速 CCD と、これを用いた単板式超高速カラーカメラを開発している。超高速撮像においては1フレーム当りの露光時間が短くなるので、超高速撮像素子には同時に高感度化が必要である。そこで超高速 CCD の高感度化のため裏面照射型に着目し、裏面照射型を適用した構造について検討している。

本論文では、表面照射型に比べ感度 12.7 倍で最高撮像速度 1670 万枚/秒の 31 万画素裏面照射型超高速 CCD を開発した結果について述べている。超高速 CCD は、光電変換部と読み出し用垂直転送路の間に、1画素ごとに 100 個以上の CCD メモリを配置した特殊な構造から構成され、全画素一斉の並列記録動作により信号電荷を CCD メモリに記録することで超高速撮像が可能になる。裏面照射型では、光開口率 100%、光利用率向上及び時間開口率 100% を実現できるので高感度化が可能であり、表面照射型で遮光膜であった金属層を配線として使用することで配線抵抗低減を実現できるので更なる高速度化が可能である。駆動評価実験の結果、感度は表面照射型に比べ 12.7 倍であり、垂直解像度は 410 TV 本で画素分離されており、最高撮像速度は 1,670 万枚/秒を実現したことを確認している。高速度撮像素子の性能指標として使用される画素数と最高撮像速度の積で比較すると、本成果は研究発表時において世界最高性能である。

以上のように著者らは、超高速 CCD を裏面照射型にすることにより高感度化と高速度化を同時に実現しており、性能指標である画素数と最高撮像速度の積で世界最高性能を達成している。本研究分野の指針の一つと優れた成果を示している点で、当該研究分野の発展に貢献する優れた論文である。



## Machine Learning in Computer-Aided Diagnosis of the Thorax and Colon in CT : A Survey

(英文論文誌 D 平成 25 年 4 月号掲載)



受賞者 鈴木賢治

本論文は平成 25 年 4 月号に企画された英文論文誌 Special Section on Medical Imaging に投稿されたサーベイ論文である。コンピュータ支援画像診断 (CAD: Computer-Aided Diagnosis) の中で脳神経外科領域とともに研究者が多く、実用化に近い診療部位である胸部と大腸を対象としたサーベイである。その両部位で世界のトップ研究所の一つであるシカゴ大学での著者らのグループとその競争相手の 130 件以上の論文を対象にまとめられている。CT 画像を対象とした胸部腫瘍の検出、胸部腫瘍の良悪性鑑別、大腸ポリープの検出に関してそれぞれまとめられたこの論文の特筆すべき点は、単なる網羅的なサーベイではなく、対象画像 (質と量)、利用している機械学習、精度と利用した交差検証法の関係が比較可能な点である。

医用診断において使われる画像は、対象部位を一つに定めたととしても、病変の検出 (CADe, Computer-Aided Detection) が主目的なのかそれとも診断 (CADx, Computer-Aided Diagnosis) が目的なのかの違いにより、具体的に利用する画像の性質が異なる。高精細化が進んではいるが、被爆量との関係もあり、現在でも様々な空間解像度と分解能を有する画像が使われている。また、個人情報を含む画像であるため、複数の機関で共通のデータを利用した比較研究が難しい。異なる方法の論文同士を直接比較することは困難ではあるが、それを機械学習の方法という軸で整理できていることは、著者の幅広い知識のたまものである。論文の構成は、著者らの開発した MTANNs (Massive-Training Artificial Neural Networks) を含む機械学習の方法の概観に引き続き、それぞれの対象に関して使用する画像種、方法、精度がまとめられている。MTANNs に基づく手法は三つの対象それぞれに適用されて、高い性能が得られていることが示されており、ほかの部位の CAD を研究する者だけでなく、機械学習を学ぶ者にとっても貴重な文献であり、高く評価できる。

なお、この論文特集はオープンアクセスとなっており、多くの初学者や研究者に読まれることが期待される。

## マルチコア CPU 環境における 低レイテンシデータストリーム処理

(和文論文誌 D 平成 25 年 5 月号掲載)



受賞者 上田高徳



受賞者 秋岡明香



受賞者 山名早人

株式の自動取引や RFID を利用した物流管理などの応用分野では、時々刻々と大量に発生する最新の株価データや物流データをマイクロ秒レベルで即時に処理して応答することが求められている。このように即時にデータストリームを処理することは現在の潮流であるビッグデータの応用領域において重要な位置付けにあり、かつ技術的にも難しい問題であることが知られている。

本論文は、システムとアルゴリズムにまたがる見地から、高速にデータストリームを処理する技術に取り組んでおり技術的な完成度が高い。

具体的には、本論文ではマルチコア CPU を活用してデータストリームを高速に処理するため、二つの技術的な貢献を行っている。1 点目は、平均レイテンシを最小化する問題を定義し、この最小化問題を解決するため、動的計画法に基づいてストリーム処理のロジックを最適に CPU コアに割り当てる手法を考案したことにある。2 点目の貢献は、時間の経過に従い変化する入力データの傾向に追従して、システムを停止することなく、ストリーム処理のロジックを CPU コアに低コストで再割当てする方法を考案したことである。この二つの貢献は、データストリームをマルチコア CPU 上で処理する際に有力な技術であり、特に先進的な応用でのニーズが高い。この二つの提案技術を試験的に実装して評価を行った結果、動的計画法により処理ロジックの複雑さに応じた高スケールなデータストリーム処理を実現し、動的なロジックの再割当て方法により入力データの負荷の変動に追従して高速にデータストリームが処理できることが報告されている。

本研究の今後について、著者らは上記の提案技術をオープンソースのデータストリームエンジンである QueueLinker で実装を行って公開すると述べており、本技術が多くの先進的なビッグデータ応用で利用されることを期待したい。

## スペクトル理論のパターンマッチングへの 応用とその性能評価

(和文論文誌 D 平成 25 年 8 月号掲載)



受賞者 上瀧 剛



受賞者 内村圭一

コンピュータビジョンの分野では、画像の中から所望の物体を探し出す方法として、パターンマッチングを用いるのが一般的である。このような方法としては、2 枚の画像の相関値に基づくものや、代表的な特徴点を照合する特徴点マッチングを用いることが多い。これらの方法では、対象物体の回転やスケールの変化に対応するために、姿勢の異なる複数のテンプレート画像を何度も用いて照合を行う。例えば、SIFT などの特徴点検出法においては、入力画像を異なるパラメータでぼかして生成した多くのぼけ画像を用いて特徴点を検出する。このような処理を実際に行うと、計算量がばく大になってしまったり、適切なパラメータを設定できないことに起因する精度低下が起きてしまったりといった問題が生じてしまう。

本論文では、これらの問題を回避するために、関数解析学におけるスペクトル理論を用いることでスケールの異なる無限枚数の画像を主成分分析で圧縮した場合の理論的な解を導出し、パターンマッチングに応用する方法を提案している。具体的には、ガウシアンスケールスペース及び、Scale Normalized LoG 空間に対して、連続的な固有方程式の解を多項式により近似して求める方法を提案している。応用例として、任意のスケールのぼけ画像生成法と SIFT 特徴点検出法が示されているが、いずれの応用例でも、非常に簡便な方法で高い精度の結果を得ることが示されている。本手法は、理論的な美しさもさることながら、その応用先の広さ、並びに今後のコンピュータビジョンの発展に寄与する可能性が大きいことから、論文賞にふさわしいものと言える。