

3. 研究活動

3.1 研究開発部

3.1.1 概要

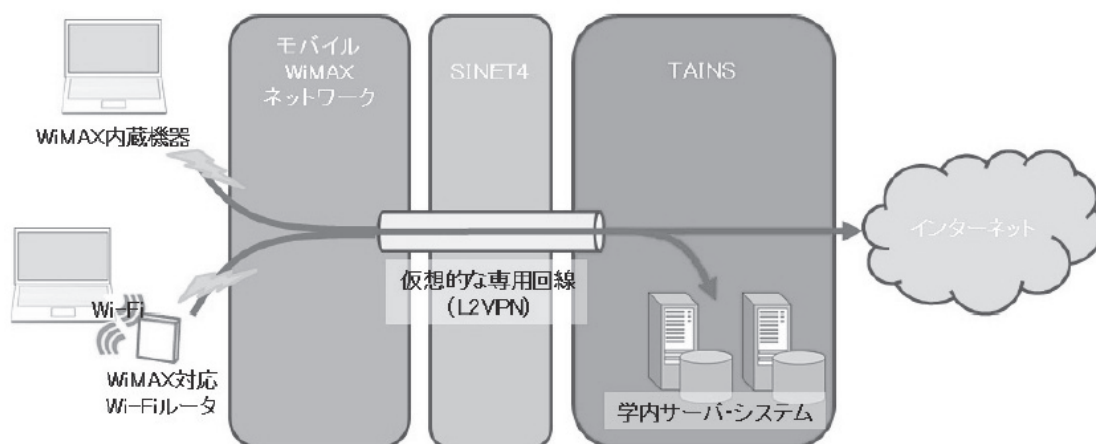
○ネットワーク研究部

東北大学総合情報ネットワークシステム TAINS は、本学のキャンパスネットワークとして全学的な情報流通やコンピューティングの基盤であり、最先端のネットワークの整備、安定した運用管理、及び有効利用のために必要な技術の研究開発が必要不可欠である。ネットワーク研究部は、このような TAINS の整備・運用管理・研究開発に積極的に取り組んでいる。

(1) 学内共通情報基盤の企画・運用管理・利活用

2008 年度末に導入された第四世代の TAINS である StarTAINS は、主要な各建物を 2 本の 1Gbps でスター状に結ぶ幹線ネットワークであり、学内共通情報基盤の根幹を成すものであり、情報部情報基盤課ネットワーク係が中心となって運用および管理にあたっている。このStarTAINSの運用や利用を高度化するため、ネットワーク係を技術的に支援し、部局ネットワークの効率的な収容やホスティングサービスの利用促進、あるいは TAINS 無線 LAN システムの拡大などに貢献した。特に、これまで先行学部において試行的に実施していた学生へのeduroam アカウントサービスの提供について、教育情報基盤センターと協力し、全学部・全研究科の学生を対象としたサービス拡大を実現した。

また、DNS サーバや NTP サーバを始めとする重要インフラサーバについて、ネットワーク研究部では、ネットワーク係と協同してこれらのサーバの安定運用のための技術開発を行うとともに、TAINSのネットワークサービスを構成するTAINS メール、VPN (PPTP, OpenVPN, SSL-VPN) サービス、ウイルス対策ソフト配布サービス、部局メールサーバ向けスパムメール対策データベースの提供などについて、技術的支援を行い、サービスの安定運用に貢献した。さらに、UQ コミュニケーションズ株式会社、ダイワボウ情報システム株式会社、および東北大学生協同組合と協働することにより、「TAINS WiMAX 接続サービス」の開始に貢献した。このサービスは、UQ コミュニケーションズ株式会社の提供する「モバイルWiMAXキャンパスネットワーク接続サービス」を利用し、全国のWiMAX エリアからTAINS への直接接続及びTAINS 経由のインターネット接続を可能にするサービスである。



TAINS WiMAX接続のイメージ

さらに、情報シナジー機構の下に置かれたネットワークワーキンググループにおいて中心的役割を果たし、TAINS の利用促進活動を行った。また、ネットワーク利用とセキュリティに関する講習会を実施するとともに、広報誌 TAINS ニュース 42 号の発行作業の中心的な役割を担い、学内におけるネットワーク活用の啓発活動を継続的に行っている。

(2) 東北地区の学術研究ネットワークの発展への貢献

TOPIC は、東北地区において学術研究・教育活動を支援するコンピュータネットワーク環境の発展に貢献するための組織である。ネットワーク研究部では、TOPIC 事務局スタッフや技術部幹事として、講習会や研修会の企画・運営、あるいは東北地区の大学・高専等に対するネットワーク接続やドメイン管理等の技術的支援などを通じて、積極的に東北地区のネットワークの発展に貢献している。また、SINET を接続するノードとして、国立情報学研究所と連携し、東北地域のネットワーク環境を維持するとともに、各大学等の SINET4 データセンターへの移行等をネットワーク係とともにサポートした。特に、TOPIC CIDRに属するIPアドレスの今後について、重点的に検討を進めた。

(3) 最先端学術情報基盤の構築に係わる研究開発

大学や企業におけるネットワーク利用について、セキュリティと情報倫理の規定や制度に関する問題が重要になっている。「高等教育機関における情報セキュリティポリシー推進部会」における活動で得た知見を活かし、情報シナジー機構の下に置かれた情報セキュリティ関連規程ワーキンググループとの協同により、これまで

「国立大学法人東北大学における情報システムの運用及び管理に関する規程」、

「情報システムの運用及び管理に関する細則」、

「情報システムの利用に関する細則」、

「情報システムの非常時行動計画等に関する細則」、

「情報の格付け及び取扱制限に関する細則」

を策定してきた。今年度は昨年度に引き続き、よりブレークダウンした実施手順やガイドラインの策定に向けての作業を行なった。

また、長距離の超高速ネットワークの利用技術と、分散コンピューティングの技術は、ともに開発途上であり、当センター等における実証的研究が期待されている。大阪大学とともに、大学間超高速ネットワークである SINET4 を用いた遠隔分散可視化のためのネットワーク方式の実験的研究を行うとともに、仙台高等専門学校からの協定研究員との協働により、大規模・広域かつ超高速のネットワークを効果的で効率的に運用し応用するためのアプリケーション指向型運用管理技術について、分散処理、多地点配信、情報収集統合化などのシステムを開発し運用する実証的研究をしている。

さらに、東北地区の大学等と SINET を接続するノードとして、L2 接続や IPv6 接続などの高度化を実現する運用技術の調査と研究開発を実施するとともに、研究プロジェクトがより効果的に活用できる学内 LAN の方式を研究開発している。

加えて、全国共同利用情報基盤センター長会議のもと、コンピュータ・ネットワーク研究会や認証研究会に参加し、共同研究を実施している。また、本学情報シナジー機構に置かれた認証ワーキンググループやポータルワーキンググループに参加し、東北大学における認証システムを始めとする情報基盤の確立に向けて協力した。

(4) 情報ネットワークの環境電磁工学(EMC)に関わる信頼性評価および計測方式

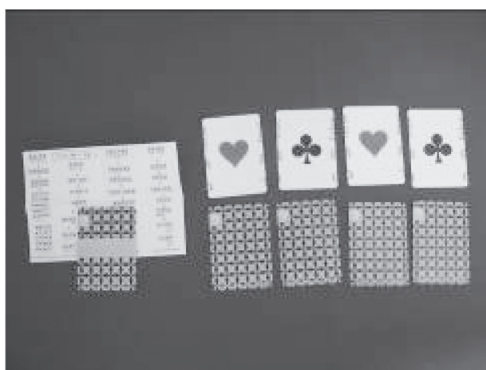
情報ネットワークシステムにおいて、電磁ノイズによる妨害のために情報伝送の信頼性が損なわれることがある。電磁妨害の抑制のために、放電や接触障害などの発生源と伝送ケーブルなどの伝搬路の現象を調査し、信頼性評価と計測方式を研究している。また、情報通信システムの電磁的情報漏洩の機構を解明するとともに、電磁情報セキュリティ問題へ展開し、暗号装置や PC 等の情報システムからの情報漏洩を実験的実証及び理論解析し、新分野を先導している。

今年度も昨年度に引き続き、暗号ハードウェアから秘密情報が遠方まで漏えいするメカニズムの解明やモデル化を行い、成果を論文誌に公表した。また、能動的な情報漏えいだけでなく、故障を注入することにより、暗号ハードウェアの誤動作を誘発させ、格納されている秘密鍵などの機密情報を奪取する攻撃に関する研究を行い、その対策技術などの検討を広範に進めた。

(5) 情報セキュリティに関する基礎的研究

情報ネットワークシステムにおいて、セキュリティ確保の問題は極めて重要であり、セキュリティ確保のために広く利用されている暗号について、基礎的研究を行っている。無制限の計算能力をもつ盗聴者に対しても安全な暗号系の構築を目指し、実現が可能なための条件の解明などが検討課題である。

今年度もカードを用いた安全な計算を実現するプロトコルの効率化に取り組み、半加算器や全加算器、あるいは多数決関数を効率的に計算するプロトコルを開発し、成果を公表した。また、カード組の改良に取り組み、オープンキャンパスなどにおいて一般市民の方々に実際にプロトコルの実験を体験してもらっている。



改良を加えている暗号プロトコル用カード組

(6) その他

ネットワーク研究部では、ネットワークのための基礎研究および先端情報ネットワーク環境に関する研究開発を行うとともに、大学院情報科学研究科の協力講座として教育にあたっている。

○スーパーコンピューティング研究部

スーパーコンピューティング研究部は、全国共同利用設備として世界最高クラスの大規模科学計算システムの運用・管理と、本システムを最大限に活用したプログラムの高速化技法や新しいシミュレーション技術の研究・開発を行っている。さらに、次世代スーパーコンピューティングシステムとその応用に関する研究をアーキテクチャレベルから応用レベルの広範囲に渡って行っている。そして、得られた成果を国内外の学術論文誌論文、国際会議論文、招待講演、展示等を通じて発表し、社会に還元している。以下に、本研究部の本年度の研究教育活動について述べる。

(1) 大規模科学計算システムの整備・運用に関する取り組み

平成26年度の大規模科学計算システムの更新に向けて、次期スーパーコンピュータ、並列計算サーバ、ストレージシステムの仕様策定を行った。次期スーパーコンピュータは将来の大規模科学技術計算を加速させることを目的に、現有システムであるSX-9の25倍以上の演算性能と、600TB/sec以上のシステムの総メモリバンド幅、150TB以上の主記憶容量を持つこととする仕様書をまとめた。また、本センターがHPCI（革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ）に提供しているスーパーコンピュータとの連携によって高速、かつ高精度な防災・減災シミュレーションを可能とすることを目的に、総演算性能30TFlop/s、ノード当たりのメモリ容量128GB以上である計算サーバ、遠隔3次元可視化を可能とする可視化システム、HPCI共用ストレージを補完する一次領域1PBと二次領域3PBからなる階層型大規模共有ストレージシステムの仕様書をまとめた。

さらに、大規模科学計算システムの運用を通して、次期システム設計に向けた既存の大規模アプリケーションの特性解析と、これらのアプリケーションを高効率に実行可能なシステム性能の概念設計に着手した。また、文部科学省の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点を構成するセンター、HPCIの構成拠点としての活動、当センターの自主事業による民間利用の促進等に取り組み、大規模科学計算システムの更なる利用促進、新規利用者の獲得に努めた。さらに、他の基盤センターとの連携のもと設計、構築を進めてきたHPCIの運用に取り組むなど、我が国の次世代の高性能計算基盤構築に貢献している。また、世界最大規模の国際会議SC13において、大規模科学計算システムに関する運用・研究開発成果の展示など国際的な広報活動を行った（図1）。



図1：SC13におけるブース展示

(2) 大規模科学計算システムにおけるプログラムの高速化に関する研究・開発

これまで蓄積されたベクトル化、および並列化に関するプログラム高速化技術を基に、サイバーサイエンスセンター・スーパーコンピューティング研究部門の教員は、共同利用支援係、共同研究支援係の技術職員と、ユーザ、およびシステム導入業者であるNECと共同で、ベクトル型スーパーコンピュータ（SX-9）と並列コンピュータ（Express 5800-D）から構成される大規模科学計算システムを用いた大規模・高速・高精度シミュレーション技術の研究・開発を行っている。平成25年度は、現在当センターで実行されているアプリケーションの大規模並列化に取り組み、表1に示す通り11件のプログラムに対して8件については単体性能で平均約17倍、4件については並列性能で平均約13倍と向上できた。また、JHPCNやHPCIの採択課題等への参画により、計算科学者との共同研究を積極的に推進した。

さらに、スーパーコンピューティングに関する国際的な学際研究を活性化させる場として、2014年3月27日（木）～3月28日（金）の両日、第19回Workshop on Sustained Simulation Performance（サイバーサイエンスセンター・シュツツガルト大学高性能計算センター・日本電気（NEC）共同主催、HPCIコンソーシアム、独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）共催）を企画・開催した。今回は、文部科学省による2年間のプロジェクトとして、東北大学、JAMSTEC、NECが中心になって取り組んでいる「高メモ

リバンド幅アプリケーションに適した将来のHPCIシステムのあり方の調査研究」の最終報告会と位置づけ、特にスーパーコンピュータを用いた防災・減災、地球環境、最先端ものづくりなどを対象に、2020年頃解決が求められる社会的・科学的課題の明確化とそのためのHPCアプリケーション、そしてこれらアプリケーションに適したHPCシステムとその実現のための要素技術を中心に発表・討論が行われた。計算機科学および計算科学分野で国際的に活躍する国内外の研究者・技術者27名を招聘し、分野を越える研究者・技術者・学生(述べ約128名)の間に活発な議論が交わされた(図2)。

表 1：平成25年度高速化実績

プログラム 番号	主な改善点	性能向上比	
		単体性能	並列性能
1	MPI による並列化		3.7 倍 (64 並列)
2	MPI による並列化		33.6 倍 (64 並列)
3	作業配列導入によるベクトル化促進、ループ展開によるベクトル長の拡大	5 倍	
4	MPI による並列化		
5	ハイパープレーン方式の適用、スカラー変数の配列化によるベクトル化促進、ループ移動によるベクトル長の拡大	6 倍	
6	インライン展開、およびループ中のエラー処理部分の移動によるベクトル化促進、MPI による並列化	70 倍	6.4 倍 (32 並列)
7	スカラー変数の初期化、配列化、指示行の導入によるベクトル化促進	25 倍	
8	ASL ライブラリへの置換、作業配列の導入、インライン展開、ループ分割によるベクトル化促進	9.6 倍	8.0 倍 (32 並列)
9	行列席内部ライブラリへの置換、指示行の導入によるベクトル化促進、ループアンローリングによるメモリアクセスの効率化	5.0 倍	
10	ループ中のサブルーチンのインライン展開によるベクトル化促進、ループアンローリングによるメモリアクセスの効率化	11.4 倍	
11	WRITE 文の最適化によるファイル IO の高速化、コンパイルオプションによる最適化の促進、複素数演算方式の最適化によるメモリアクセスの効率化、ASL ライブラリの最適化	1.4 倍	



図2：第19回Workshop on Sustained Simulation Performanceの様子

(3) 高メモリバンド幅アプリケーションのための将来のHPCIシステムのあり方に関する研究

サイバーサイエンスセンター・スーパーコンピューティング研究部が中心になり、本学災害科学国際研究所、情報科学研究科、電気通信研究所の研究者と海洋研究開発機構(JAMSTEC)、日本電気(NEC)、東京大学、大阪大学、理化学研究所、宇宙航空研究開発機構、北陸先端科学技術大学院大学、東北マイクロテックなど学外の計算科学・計算機科学の研究者・技術者の協力を得ながら、2018年頃に実現が求められ、我が国の安全安心な社会作りと、産業界の国際競争の強化に不可欠な先端ものづくり技術の実現に資するスーパーコンピュータシステムに関するプロジェクト「高メモリバンド幅アプリケーションのための将来のHPCIシステムのあり方の調査研究」を企画し、その提案が文科省の公募事業「将来のHPCIシステムのあり方調査研究」の1つとして採択され、同事業を実施した。本事業は、アプリケーション研究者、スーパーコンピュータアーキテクチャ研究者、デバイス研究者がエクサスケールスーパーコンピュータシステムの実現に向けて密接に連携して取り組むものであり、まさに学際研究プロジェクトとなっている。これら一連の成果は第19回WSSPをはじめ、研究会、招待講演等で発表している。また、この事業の一部は、東北大学と海洋研究開発機構(JAMSTEC)との間で結ばれた包括的連携協定で実施する主要プロジェクトの1つとしても認定されている。

(4) 高性能計算システムとその応用に関する研究

本研究部門の教員は、大学院情報科学研究科の協力講座「超高速情報処理論」を担当し、大学院学生の研究・教育に従事するとともに、工学部機械知能・航空工学科機械システムデザインコース担当教員として学部教育にも貢献している。以下に、本年度の研究成果を示す。

➤ 次世代ベクトル型プロセッサアーキテクチャとその応用に関する研究

近年注目を集めているTSV(Through Silicon Via)を用いたシリコンダイの垂直積層技術に着目し、2.5次元と3次元積層を適材適所で利用する5.5次元積層を用いたベクトルスーパーコンピュータの高性能・低消費電力設計に取り組んでいる。垂直積層技術を用いることで、トランジスタだけでなく、プロセッサやメモリシステムを高密度に集積することができるため、性能向上の障害となっているレイテンシや電力の問題を解決することが可能になる。今年度は、3次元積層型演算回路と5.5次元積層技術を用いたベクトルプロセッサ設計に取り組んだ。プロセッサコアとメモリを2.5次元積層技術によって、シリコンインターポーザーに集積することで、高い演算性能とデータ供給性能を実現すると共に、3次元積層技術を用いて大規模キャッシュメモリをプロセッサ上に集積することで、エネルギー効率の高いプログラム実行を実現可能なことを示した。これらの成果を、3次元積層技術に関する国際会議であるIEEE 3DICや、LSI設計に関する国際会議ISVLSI等で発表し、高い評価を受けている。

➤ マルチメディアアプリケーション向けのベクトル拡張に関する研究

次世代マルチメディアアプリケーションが要求する高いデータ処理能力を低消費電力で実現することを目的に、スーパーコンピュータの要素技術であるベクトル処理技術を取り入れたメディアプロセッサの設計に取り組んでいる。具体的には、メディア処理におけるベクトル演算器の利用率改善を図るアウトオブオーダーベクトル処理機構や、タグアレイの削減によって低消費電力化を図る高バンド幅マルチバンクキャッシュメモリの研究・開発を行った。また、マルチメディアアプリケーションの性能ボトルネックを考慮し、エネルギー効率の高いメディアプロセッサを設計可能なアーキテクチャ最適化手法を提案し、メディアプロセッサを次世代の車載用画像処理シス

テムに特化することにより、1TFlop/sの性能を5Wで達成可能である見積もりを得た。本成果の一部は、メディア処理に関する国際会議ESTIMediaや低消費電力プロセッサに関する国際会議COOL Chipsに採録され、評価を受けている。

➤ 高性能低消費電力プロセッサアーキテクチャの研究

マイクロプロセッサの高性能化・低消費電力化へ向けて、キャッシュメモリを考慮した効率的な資源管理に取り組んでいる。このような資源管理は、キャッシュメモリ上で発生するスレッド間資源競合による性能低下の抑制や、キャッシュメモリ資源の適応的な割当による消費電力の削減を可能とする。具体的には、キャッシュメモリ中の再利用されないデータのキャッシュへの保存を抑制するバイパス機構や、再利用されないデータの早期の追い出しを行うデータ管理ポリシーについて取り組み、アプリケーション実行時のキャッシュ資源利用の効率化を図っている。また、コアで実行されるスレッドの資源利用状況を考慮しつつスレッドとコアの関係を決定するスレッドスケジューリングに組み込み、複数スレッドでキャッシュを共有する場合の利用効率の向上を図っている。これらの成果の一部は、低消費電力プロセッサに関する国際会議COOL Chipsや、電子情報通信学会英文論文誌に採録され、評価を受けている。

➤ 高性能計算アプリケーション開発環境に関する研究

近年、高性能計算システムの複雑化と多様化が急速に進んでいる。その結果、特定の高性能計算システムを強く意識したプログラミング(性能最適化)をしない限り、そのシステム上で高い実行性能を達成することが困難となった。アプリケーションプログラムを中長期的に保守管理するためには、特定のシステム向けに性能最適化されたプログラムを他のシステム向けに書きなおす必要があり、そのために多大な労力を要することが深刻な問題となっている。このため、特定のシステム向けの性能最適化をプログラムとは切り離して記述することで、複数のシステムで高性能を達成するための研究開発を行っている。今年度は、XML(eXtensible Markup Language)とその関連技術に基づいて、性能最適化に必要なコード修正をアプリケーションプログラムから切り離して記述するためのプログラム環境としてXevolverを開発した。また、特定のコードパターンの自動検出や独自のコンパイラ指示行を定義するためにも、Xevolverが有用であることを明らかにした。成果が国際会議であるSC13のポスター発表に採択されるなど、その今後の発展性が高く評価されている。

➤ 大規模科学技術計算のためのHPCリファクタリングに関する研究

年々複雑化が進む高性能計算システムにおいて、大規模科学シミュレーションコードの高い性能可搬性の維持を可能とする HPC リファクタリングに関する研究に取り組んでいる。実アプリケーションへのチューニング事例の収集、解析、評価を通じて、性能可搬性の高いコードが具備すべき要件を明らかにし、高い性能可搬性を実現するためのガイドラインであるリファクタリングカタログの構築に取り組んでいる。また、既存の大規模科学技術アプリケーションを速やかに将来のシステムに移植し、高速に実行を実現することを目的として、既存のコンパイラを最大限に活用したOpenMP 化支援ツールの開発を行っている。これらの成果の一部を高性能・高効率大規模科学計算に関する WSSP や研究会、国際会議等で発表している。

➤ 高機能文書認識システムに関する研究

人間と同様に環境中のあらゆる文字情報をコンピュータが獲得できるような、高機能で汎用的な文書認識システムの実現を目指して、文書認識に関する様々な手法の研究・開発を行っている。

平成25年度は、視覚障害者の文字情報利用支援への応用に重点を置き、ウェアラブルな文字認識視覚補助デバイスの実現を目指して、看板や文書等のシーン文字のリアルタイム検出やトラッキング（追跡）、リアルタイム高速文字認識などの要素技術の研究開発を進めた。

シーン文字検出・トラッキングについて、前年度までに開発した手法にSURFを用いた文字領域マッチングを導入することで、カメラの視野から一時的に外れた文字領域も正しく元の文字領域として追跡継続できる機能を実現した。これにより、同じ文字情報の重複した提示を削減することができ、デバイスの利便性向上につながる。

視覚障害者が自力で環境中の看板などを見つけ、文字情報を利用できるようにするため、文字の位置を音響信号によって提示する仕組みと、文字認識、および、音声合成を組み合わせた「文字読み上げカメラ」のプロトタイプを前年度に開発したが、本年度はこの成果を論文にまとめて、アシスティブ・テクノロジー(AT)に関する国際会議AAATE2013で発表した。

ビデオレートのリアルタイム文字認識を実現するために、多クラス判別分析(LDA)と二分探索木を用いて、文字認識の高速化手法の改良を推し進めた。前年度開発の手法では、日本語の手書き文字データ(ETL9B)では速度・認識精度とも高かったが、中国語簡体字の手書き文字データ(HCL2000)では大きな性能低下が見られた。本年度は、多言語対応を実現するために、日本語・中国語双方で高い性能が得られる、改良型の高速文字認識手法を開発した。新しい手法では、中国語データに対して、全数整合法と比べて32.3倍の速度を1.0%の精度低下で実現できた。このときの処理速度は動画像(30fps)の1フレームあたり約149文字に相当し、リアルタイム文字認識の応用につながる。

○情報通信基盤研究部

本研究部は、大学運営の基盤となる、全学的に統合・一元化された情報通信基盤の提供と、その高度な利用に関する研究開発を行うことを主たる任務としている。本年度は、センサベース情報環境に対応した情報通信基盤の強化、センサネットワークを含めた情報通信基盤の高度利用、グリーン ICT への展開、サイバーリアルコンピューティング等に焦点を当て研究開発を推進した。その概要は以下のとおりである。

(1) 多元情報通信基盤の高度化に関する研究

多元情報通信基盤におけるセンサネットワークの高度化に関する研究として、M2M (Machine-to-Machine) データ分析サービスシステムに関する研究を推進した。具体的には、中小規模の M2M サービスシステムへの適用を目的に、SQLite や R などのオープンソースソフトウェア環境を活用した M2M データ分析サービスシステムを提案し、スマートグリッドのデマンドレスポンスへの適用を想定したアプリケーション・シナリオに基づいて提案システムの有効性を評価した。以上の研究成果は学術論文にて成果を公表し、高い評価を得ている。

また、多元情報通信基盤における無線ネットワークの高度化に関する研究として、低可用・不安定な無線ネットワーク環境における資源の自律的・効果的な利用技術、およびネットワーク管理技術の高度化の研究開発を進めている。具体的には、Software Defined Network (OpenFlow) によるネットワークの柔軟な構成法に関する研究を推進し、複数のインターネット無線アクセス回線を柔軟に切り替える方式検討、アーキテクチャ設計、詳細設計を行い、さらにプロトタイプシステムの試験実装を行った。また、初期実験により本方式の有効性を検証した。

(2) 多元情報通信基盤の高度利用に関する研究

多元情報通信基盤の高度利用に関する研究として、今年度は主に、グリーン ICT、耐災害 ICT システム、共生空間システム、分散ストレージ技術への応用等について研究開発を推進した。

➤ グリーン ICT

多元情報通信基盤を利用したグリーン ICT に関する実証的研究として、総務省 ICT グリーンイノベーション推進事業(PREDICT)に採択された委託研究「情報システムの省電力化を実現する次世代ネットワーク管理技術の研究開発」を推進した。具体的には、ネットワークのグリーン化(省電力化)を実現する「次世代グリーン指向ネットワーク管理」の実現技術の確立に向けて、(1)ネットワークの省電力化を実現する管理技術の研究(無駄の「見える化」技術、無駄削減の「自律化」技術)、(2)次世代グリーン指向ネットワーク管理技術の開発・実装、(3)中・大規模ネットワークシステムへの適用と評価、の3つの研究項目を推進した。今年度はプロジェクト最終年度であったため、主として実証実験による提案技術の有効性検証に焦点を当てて研究開発を進めた。「見える化」技術については、実験環境である東北大学病院・医学系研究科の協力のもと、大学病院の大規模ネットワークにおける検証実験を行い、消費電力の削減に有効であることを確認した。また、スマートタップ等の電力観測装置を用いずに、ネットワーク情報から消費電力を高精度に推定する手法を開発した(図)。「自律化」技術については、消費電力観測値から生活状況を推定する手法、および電力の有効利用を実現するための生活行動プランニング手法に関して設計・実装を実施し、シミュレーション実験の結果、その有効性を確認した。

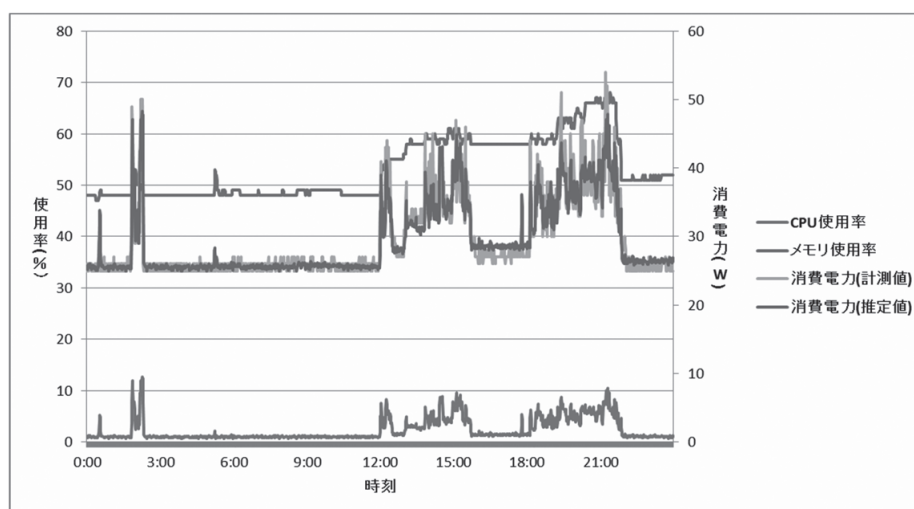


図 CPU 使用率、メモリ使用率からの PC 消費電力の推定

また、電力観測装置を用いずに ICT 機器の消費電力を推定する技術の国際標準化を進めるために、インターネット標準規格の策定機関である IETF における EMAN ワーキンググループにおいて、ドラフト標準規格の提案を行った。同ワーキンググループにおいて議論を継続して行っており、国際標準獲得に向けた標準化活動を展開している。

以上の委託研究の一連の研究成果については、プロジェクト終了報告として報道発表を行い、テレビのニュース番組で報道されるなど、一般からも高い関心を得ている。

➤ P2P 型安否情報共有システム

大規模災害時などにおける構成、機能、性能などが不安定なネットワーク環境上で、可能な限り安定したネットワークサービスを提供するためには、限られたネットワーク資源を節約するように各ノードが動作し、ノード自身やネットワークにかかる負荷を能動的に分散することが求められる。そこで我々は、多元情報通信基盤の一部として、ノード間の動的負荷分散を効率的に実現する P2P 型安否情報共有システムを提案した。具体的には、我々がこれまで提案してきた構造化 P2P ネットワークである Waon (Well-distribution Algorithm for an Overlay Network) をネットワーク基盤技術として用いることで、ネットワークの再構築やネットワーク維持にかかるコストの増加をとまわずに動的負荷分散を実現した。また、P2P 型安否情報共有システムの設計・実装を通じて Waon の導入による効果を検証し、大規模災害時におけるネットワークサービスへの Waon の適用可能性について検討した。

➤ 共生空間システム

多元情報通信基盤の U/I 技術として、現実空間と仮想空間を感覚的に統合・融合するための基盤技術に基づく新たな 3 次元仮想空間の構成法を提案している。今年度は、本基盤技術により実現される「共生型 3 次元仮想空間」において、利用者に現実空間と仮想空間の融合を感じさせるツールである「共生感提供機能」の中の、空間提示機能の高度化に焦点を当て研究開発を進めた。

空間提示機能の高度化に関しては、具体的には、従来のミラー型インタフェースの他に、ユーザによる携帯が容易なフレーム型インタフェースや、ユーザが直接装着するグラス型インタフェースなど、多様な形態で空間提示を実現するための研究開発を行った。また、これまで現実空間と仮想空間の融合に焦点を当てていた「共生型 3 次元仮想空間」のモデルを、遠隔の複数現実空間と、複数仮想空間を組み合わせる融合可能なモデルへと拡張するための検討を行った。具体的には、各空間を、「共生空間」と呼ぶ論理的空間集約インタフェースを介して接続することで融合するモデルを考案した。また、新しいモデルのリファレンス実装として、2 つの現実空間を重ね合わせて融合する鏡型空間共有システムを開発した(図)。

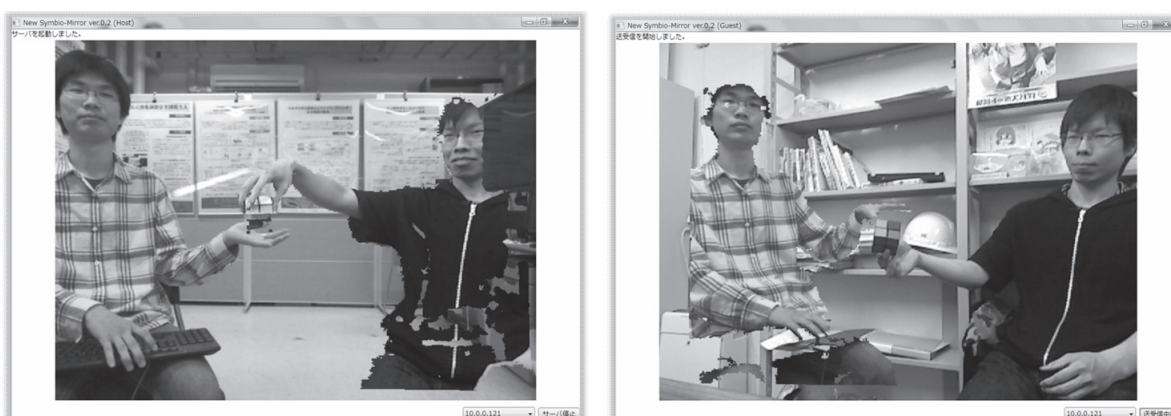


図 鏡型空間共有システムの動作例

➤ 高機能高可用性情報ストレージ技術

災害に強い情報ストレージ技術に関する研究開発として、文部科学省「イノベーション創出を支える情報基盤強化のための新技術開発」の支援を受け、電気通信研究所村岡教授らと共同で「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」に関するプロジェクトを推進している。具体的には、ネットワーク上に分散したストレージ機器間の通信経路を、SDN の技術を使用してソフトウェアで

適応的に制御する手法を研究開発し、データ転送の並列・高速化を実現している。本年度はルーティング方式等の詳細設計を行った。またソフトウェアによる OpenFlow を用いたシミュレーション実験環境を構築し、予備実験を実施して提案方式の高速化の効果を検証するとともに、ハードウェアによる実証実験用ネットワークの構築を行った。

(3) 多元情報の応用に関する研究

本研究部では、各種センサを用いて人物の動作・行動を認識するための手法、および、それらの手法を用い実用的認識システムを構築するための技術に関する研究を進めている。平成 25 年度は、具体的な応用を視野に入れ、以下の項目を中心とした研究・開発を行った。

➤ 携帯端末内蔵のセンサを用いた人物動作認識に関する研究

センサを用いて人物の状態を常時獲得するために、スマートフォンなどの携帯端末に内蔵された多様なセンサを利用する手法が注目されている。しかし、

1. 携帯端末に内蔵されるセンサは、実装サイズや製造コストの制限により、その精度が一般に高くないこと
2. 携帯端末は様々な形で身に付けられるため、内蔵されたセンサの位置や向きを一定に保つことが難しいこと

など、携帯端末に内蔵されたセンサの出力を複雑・高度な処理に利用するためには解決すべき問題がいくつか存在する。

本研究では、携帯端末内蔵センサを用いた高精度な人物動作認識を実現する手法を提案した。提案手法では、携帯端末内蔵の複数のセンサの出力を動作認識に利用することにより、前述 1 の問題の解決を図っている。具体的には、加速度センサの出力から動作を認識する際、近接センサの出力を併用することで、動作認識の対象外となる人物の状態（端末の操作中など）を検出・除外し、対象動作の認識精度改善を図っている。さらに、気圧センサの出力を併用することで、階段の上り下りなどの動作に対する認識精度向上を実現している。また、提案手法では、各軸方向について得られる加速度センサの出力を主成分分析し、その結果に基づいた座標変換を行うことで、前述 2 の問題の解決を図り、携帯端末の保持状態によらない動作認識を実現している。

本提案手法に対しては、携帯端末を実際に身に付けた人物を対象とした動作認識実験を行い、その有効性を確認した。

➤ シルエット画像を用いた人物動作認識に関する研究

「監視」を目的とした動作認識の場合、動作の詳細な識別は必要とされないものの、低品質な画像への対応や長時間の安定した運用の実現などが要求される。これら「監視」を目的とした場合の要件を満たすために、低品質な画像からでも抽出可能なシルエット画像を用い、既知の動作のテンプレートとのマッチングを行うことで安定した動作認識の実現を図る手法が提案されている。しかし、この手法には、障害物による遮蔽等により人物のシルエット画像に欠損が生じると、認識精度が大きく低下するという問題がある。

本研究では、図に示すように、時間的に連続した複数のシルエット画像をセットとし、各セットを空間的に分割した分割シルエット画像集合をマッチングの単位とする動作認識手法を提案している。分割シルエット画像集合には、時間的に連続した複数のシルエット画像の情報が含まれるため、本提案手法では、動作の時間的な特徴をマッチングに反映させることができる。また、分割シ

シルエット画像集合は、空間的に分割された単位でマッチングを行うため、シルエット画像に欠損が生じている箇所の影響を抑えた動作認識が可能となっている。

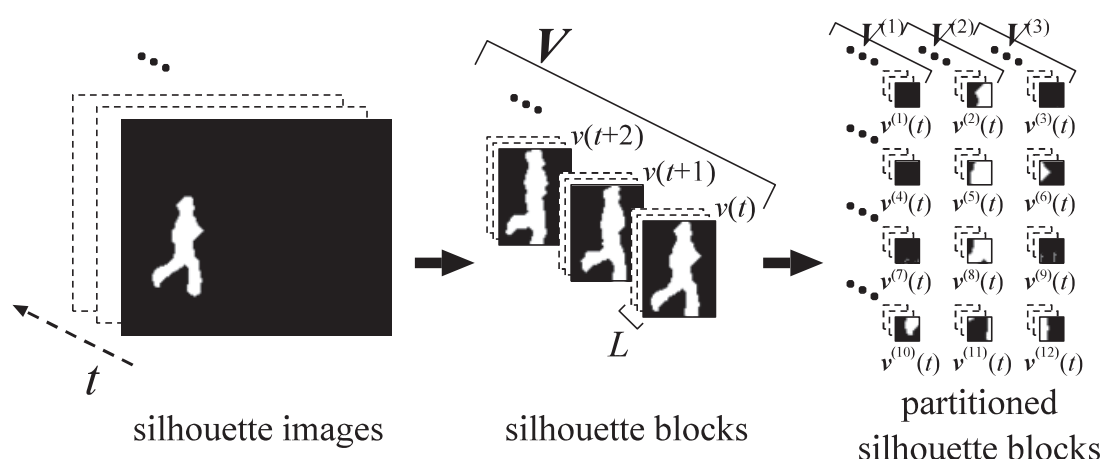


図 分割シルエット画像集合を用いた人物動作認識

さらに、本年度は、様々な状況で撮影された映像から、移動する対象のシルエット画像を安定に抽出する背景差分法の提案を行った。背景差分法は、背景モデルと入力画像で対応する箇所の差分を求め、差分が大きな箇所を対象領域として抽出する手法である。本提案手法では、小領域単位で差分を求めることにより、対象領域の抽出精度を高めている。さらに、差分を求める際の対応箇所に幅を持たせることで、カメラの振動により背景がずれる場合や、風により背景中の樹木等が揺れている場合など、様々な状況で撮影された映像からの安定した対象領域抽出を図っている。本提案手法については、基本部分を実装した試作システムを用いた予備実験により、有効性の実証を行った。

➤ 人物と物体のインタラクション検出に関する研究

映像から人物の詳細な行動を認識するためには、人物の動作だけでなく、人物と周囲の関係に関する情報も獲得する必要がある。中でも、人物が物体に触れるという状況（人物と物体のインタラクション）の獲得は、詳細な人物行動認識を行う上での重要な手掛りとなる。しかし、人物と物体のインタラクションを画像から検出する従来手法では、多様な物体を対象としたインタラクションの検出が困難、多数の人物が存在する混在した状況では、どの人物とどの物体にインタラクションが生じたか対応付けを行うことが困難という問題があった。

本研究は、これら従来手法の問題の解決したインタラクション検出手法の実現を目指している。現在検討を進めている手法では、まず、画像から個々の人物の領域抽出を行い、抽出された各人物領域中で頭部、前腕等の部分を認識し、前腕周囲の領域での物体の有無や移動の検出を行っている。本手法は、このように、画像中の人物を階層的に解析し、インタラクションを行うための重要な部位である前腕に注目することで、混雑した状況における人物と多様な物体に対する高精度なインタラクション検出を図っている。また、時系列画像に対し、色情報、深度情報、動き情報など複数の情報を用いた領域分割を行った後、各フレーム画像で得られた領域を時間軸に沿って対応付けることで、インタラクションが生じている人物と物体の領域を高精度に分割・抽出する手法についても検討を進めている。

➤ カメラネットワークの QoS 制御に関する研究

映像から人物動作を認識する際、撮影する範囲の拡大や動作認識の精度向上を図るために、カメラネットワークを構成することで撮影用のカメラ台数を増すアプローチをとる場合が多い。カメラネットワークを用い人物動作を認識する場合、一般に、ネットワーク経由でカメラから送信された映像がサーバで処理され、得られた動作認識結果がアプリケーションへ出力される。その際、各アプリケーションが各々異なる品質を動作認識結果に対し要求する一方で、アプリケーションへ出力される動作認識結果の品質は、ネットワークやサーバの負荷が変動すると大きく変化する。また、動作認識結果の品質は、様々な項目で構成され、品質項目の間にはトレードオフが発生する。

本研究では、要求された様々な品質の動作認識結果を、種々変化する状況の下で、品質項目間のトレードオフを考慮しつつ安定に出力するための QoS 制御システムを提案した。さらに、図に示す試作システムを実装し、制御量（出力の品質項目）として、領域範囲、分解能、検出頻度を用い、操作量（システムのパラメータ）として、使用カメラ台数、画像サイズ、フレームレートを対象にした評価実験を行った。その結果から、種々変化する状況の下で、要求された様々な品質の出力を、安定に提供する提案システムの有効性を確認した。

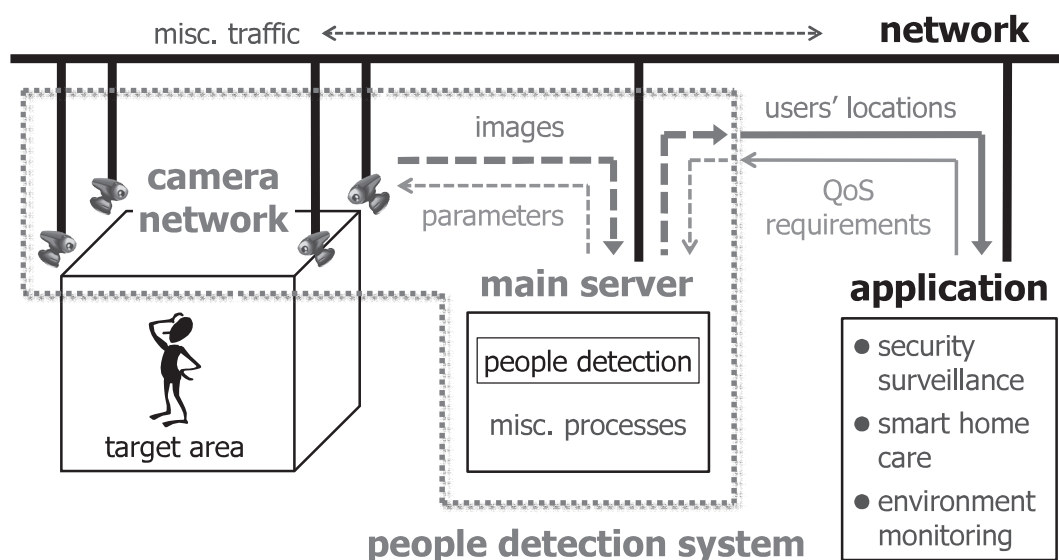


図 カメラネットワークによる人物認識における QoS 制御システムの構成

○先端情報技術研究部

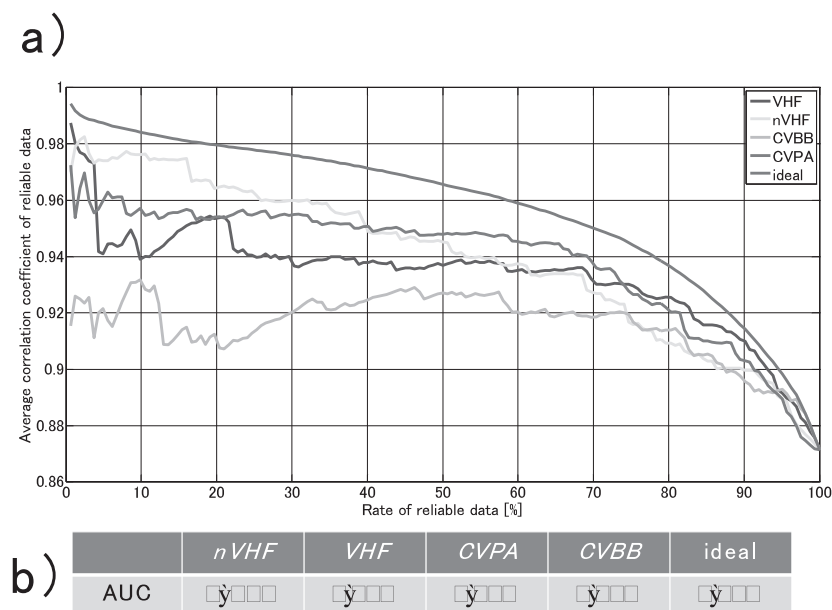
本研究部は、教育・研究環境に対する最適な情報技術（IT）の利用支援と IT 利用技術に関する研究開発を行うことを主たる任務としている。この任務に関し、特に医学における教育・研究分野への情報通信技術 ICT の応用に関する研究開発を行い、「サイバー医療」の推進を行った。その概要は次のとおりである。

(1) 心拍数変動の推定値信頼性評価法の開発

高血圧症などの疾患と関連しているとされる自律神経機能の異常は、心拍数変動の計測によって評価できる可能性がある。これまで、心拍数変動を非接触な計測で得るための研究が多く行なわれているが、真値が分からない環境下において、推定した心拍数変動が信頼できるかどうかを判断する手法は確立されていない。

そこで本研究では、椅子の座面に設置したシート型微小変位センサから得られる信号を用いて心拍数変動を推定し、計測信号における特定周波数のパワーなどを解析することで、その推定値が信頼できるものかどうかを判定するための手法を提案した。

27人の被験者について提案手法による推定精度とスクリーニングの正確さを調べた結果、真の心拍数変動との相関係数は0.87となり比較的高い精度の推定が可能となること、およびトレードオフ曲線から得られる面積指標(AUC)から、いくつかの提案した推定方法の中で最も良好なスクリーニング結果が得られる方法を客観的に決定することができるようになった。



各方法で推定した心拍数変動が信頼できるかどうかを評価するための方法

a) 信頼度対平均相関係数を表すトレードオフ曲線. b) トレードオフ曲線から得られる面積指標 (AUC). この場合 *nVHF* 法が最も優れていることが判定できる。

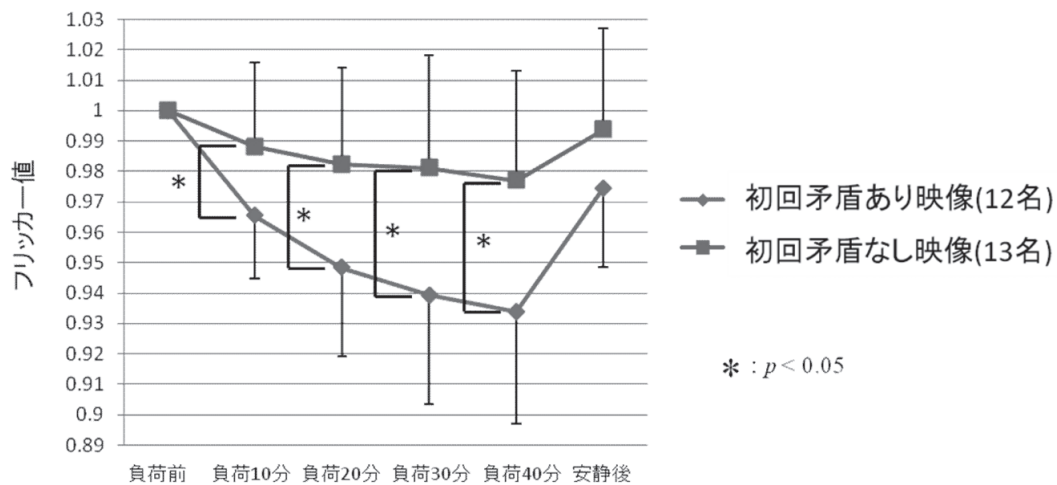
(2) 3D 映像の生体影響評価法の開発

近年、人工的な立体視が可能となるテレビが開発され、子供から高齢者まで家庭でも 3D 映像を長時間視聴する機会が増えつつある。しかし、人工的な立体視により眼精疲労やいわゆる 3D 酔いなどのような望ましくない生体影響が懸念されている。本研究では、3D 映像視聴による生体影響が焦点調節系と輻輳系の矛盾に起因するという仮説の検証を行うことを目的とした。

この検証のために焦点調節系と輻輳系の矛盾の有無のみを比較できるような実験系を考案した。特に、視聴中にタスクを課すことで飽きによる影響を排除し、意図した通りに焦点調節系と輻輳系の関係を正確に保っているかどうかを判断できるようにした。また、負荷 3D 映像にランダムドットステレオグラムを用いることで片目だけではタスクができないような工夫を施した。

この実験系においてフリッカーテストを行ったところ、焦点調節系と輻輳系に矛盾がある映像の方が、矛盾がない映像より有意にフリッカー値が低下した。これは、自然な立体視にはない人工的な立体視が

持つ焦点調節系と輻輳系の矛盾により疲労の影響がより強く現れたことを意味しており、上記の仮説を支持する結果である。この成果に対して、第 287 回計測自動制御学会東北支部研究集会 優秀発表奨励賞が与えられた。



輻輳調節系と焦点調節系に矛盾がある映像を提示した場合と矛盾がない映像を提示した場合のフリッカー値の比較 (Welch の t 検定). 矛盾ありのフリッカー値が有意に低下し、眼精疲労の影響が示唆された。

(3) バーチャルリアリティを用いた足こぎ車いすによるリハビリテーションシステムの開発

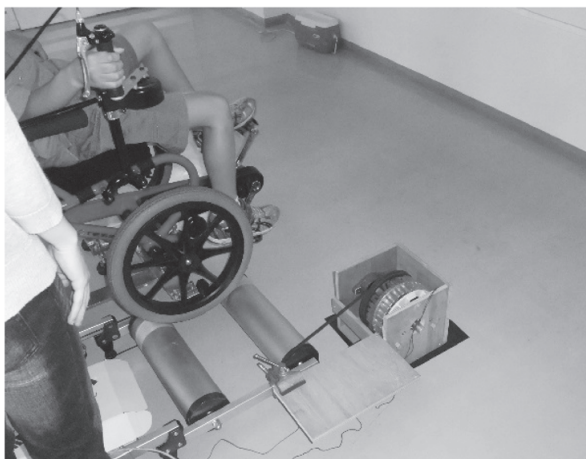
足こぎ車いすは、脳卒中片麻痺患者などの歩行困難者が健常側の足で漕ぐタイプの車いすであり、手で漕ぐ通常の車いすより負担が少なく、かつ速く移動を行うことが可能である。また、普段動かさない麻痺側の脚を積極的に使うことで、廃用症候群などを防止する効果があるとされている。

本研究室では、コンピュータによって作成した仮想空間内で足こぎ車いすの操作を体験できるシステムを開発し、患者が安全な環境下で訓練を行えるようにした。また、このシステムを使用している患者の動きを詳しく解析し、リハビリテーションの効果を定量的に評価する方法について研究を行っている。

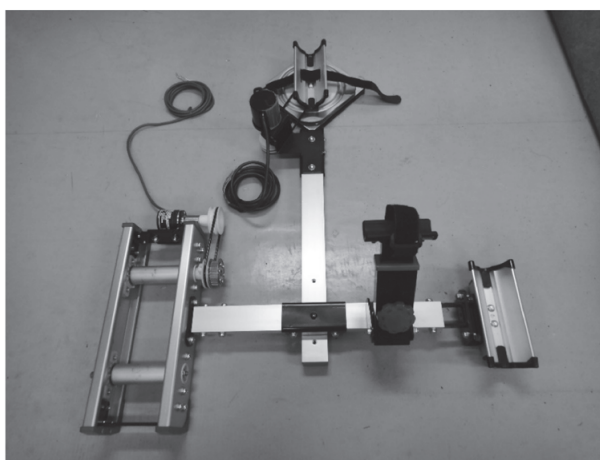
➤ リハビリテーションシステムの改良

当研究グループで開発を行っているバーチャルリアリティシステムについて、仮想空間内の環境に応じてユーザに力覚フィードバックを行えるよう改良を行った。具体的には、車輪をのせる回転台に対してパウダブレーキを用いたトルク制御を行い、ペダルのトルクを任意に変化させることができる機構を追加した。この改良により、リハビリテーションシナリオの中に設けたスロープを走行した際の臨場感を高めることが可能となる。また、負荷を適切に調整することにより、患者の運動機能に合わせたリハビリテーションプログラムを組むことができるようになる。

さらに、従来のシステムで使用していた筐体を改良し、デバイスの可搬性を向上させると共に、足こぎ車いすの重心を下げることで操作時の安定性を高めた。



バーチャルリアリティシステムの力覚フィードバック機構



新しいバーチャルリアリティシステムの筐体



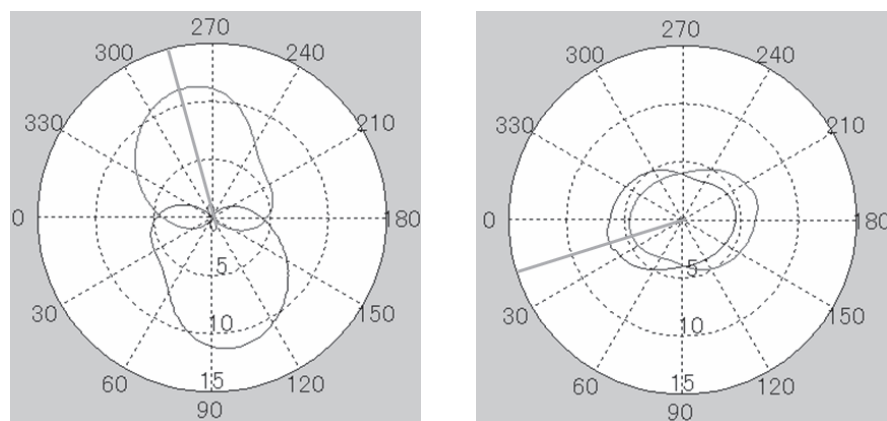
新しいバーチャルリアリティシステムの筐体（足こぎ車いす搭載時）

➤ ペダルトルク解析による運動機能評価

本研究では、足こぎ車いすに装着した各種センサの情報を統合的に解析することによって、患者の運動機能を定量的に評価することを目的にしている。

本年度は、足こぎ車いすのペダル部分に取り付けた小型フォースプレートの情報を用い、ユーザの筋力によって発生したトルクを正確に推定するための手法について提案を行った。提案手法では、

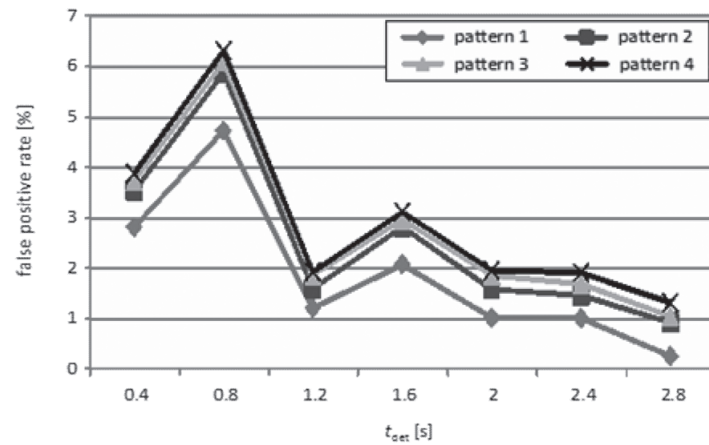
小型フォースプレートに内蔵された加速度・ジャイロセンサから得られる信号にカルマンフィルタを適用し、ペダルの回転角度を推定した。また、足を3自由度のマニピュレータとしてモデル化し、回転トルクから足の自重トルクの影響を除去する処理を行った。提案手法の性能を評価するため、健常者がペダルを通常に漕ぐ場合と擬似麻痺で漕ぐ（片脚漕ぎ）場合とで推定されるトルクを比較する実験を実施した。その結果、提案した手法により左右脚における踏力のバランスが正しく推定できていることが示された。



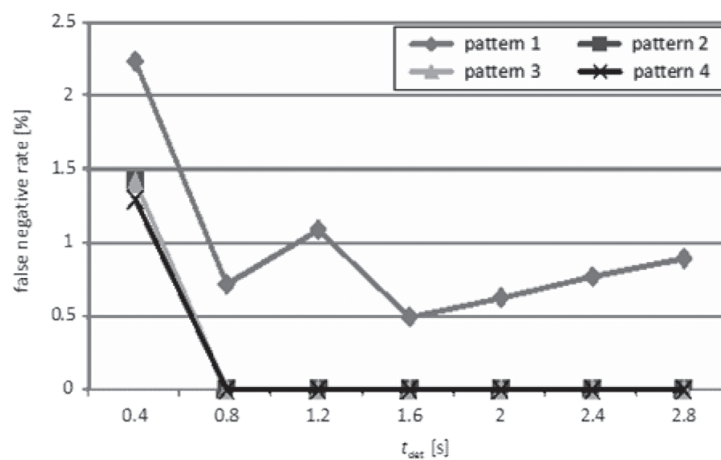
推定されたペダルトルクの例（左：通常漕ぎ、右：片脚漕ぎ）

(4) 致死性不整脈検出アルゴリズムに関する研究

本研究は、国産の植込み型徐細動器（ICD）に用いることを想定した、致死性不整脈を早期かつ高精度に検出するためのアルゴリズムを開発するものである。平成 25 年度では、著者らが先に提案した、複数の心内心電図信号から得られる指標を用いて算出した重回帰モデルによる致死性不整脈検出アルゴリズムに関して、ヒトの心内心電図に適用した場合における検出性能の検証を行った。右心房内および右心室内の心電電極から得られた正常洞調律（SR）、上室性不整脈（SVT）、および心室頻拍（VT）のデータに対して、従来の提案アルゴリズムを適用することで、下図のような結果が得られた。ここで、Patern1～4 はデータに含まれる上記 4 つの心調律の存在比率を 4 種類変えたものである。提案方法はこれまでイヌの心内心電図に対して有効性が示されていたが、これらの結果から、ヒトの心内心電図においても VT を正しく識別が可能であることが示された。ただし、本研究では心室細動（VF）のデータが不足していたため、その検出性能を確かめることができなかった。今後は、不整脈のデータ数を充実させて提案手法の有効性をさらに検証する必要がある。



提案方法によって心調律の分類を行ったときの偽陽性率



提案方法によって心調律の分類を行ったときの偽陰性率

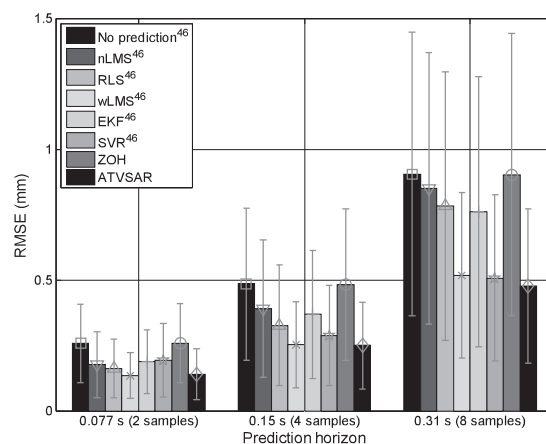
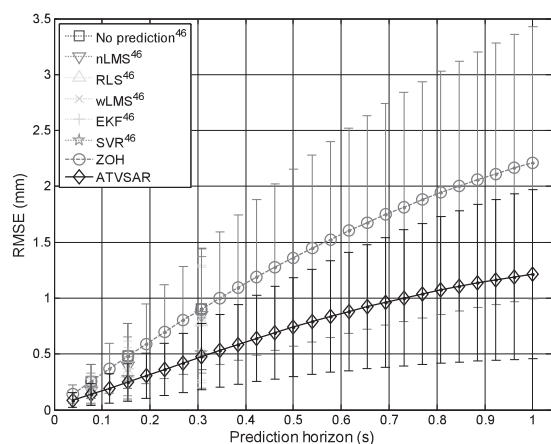
(5) 安全な次世代型 4 次元放射線治療装置の開発

本研究では、胸部並びに腹部など体幹部の放射線治療時における腫瘍等の複雑な動きを、X 線透視画像により正確かつ高精度に計測して腫瘍のみに照射を行い、治療効果向上とともに周辺組織への副作用を劇的に低減し、かつ照射時間の短縮や腫瘍定位金属マーカー刺入リスク回避などにより患者負担を軽減可能な、次世代型 4 次元放射線治療装置を開発している。

本年度は、肺がんに対する追尾照射実現のため、腫瘍の呼吸性位置変動を正確かつ高精度に予測する時系列予測法を開発した。提案法は、時変季節性自己回帰 (Time-varying seasonal autoregressive, TVSAR) モデルを拡張した適応的時変季節性自己回帰 (Adaptive TVSAR, ATVSAR) モデルに基づく。ATVSAR モデルでは、TVSAR モデルにより呼吸性位置変動にみられる揺らぎを伴う周期的 (概ね規則的) な成分を表現し、また TVSAR モデルでは表現できない残差成分を適応的に時系列モデル化・予測して補償する。これにより ATVSAR モデルは、振動的振る舞いの中心軸や振幅が複雑に変化する不規則な呼吸パターンを含む多様な症例において適用可能となった。実データ百例程度を用いた予測実験により、数百ミリ秒先の平均予測誤差が臨床上有用な 1 mm 未満となるなど、提案法の予測性能が臨床要求を満足することが確認されている。

これに加え、本年度は提案法の信頼性向上のため、公開データ三百例超を追加して最新の競合予測法複数との性能比較を行った。その結果、数十ミリ秒先の短期予測では提案法の予測性能は最良の競合予

測法に匹敵し、また数百ミリ秒先以降の中長期予測では提案法が最小の予測誤差を達成することを確認した。これらは提案法が世界トップクラスの肺腫瘍位置予測性能を有することを意味する。また、ATVSAR モデルを実装した評価用プログラムが医療機器メーカーにおいて試験され、メーカーによる別手法と比べても予測性能の優位性が認められるなど、実用化に向けた進展があった。また、共同研究機関である弘前大学病院においてX線透視画像の撮像実験を行い、3次元腫瘍位置計測が実施可能なことが明らかとなった。

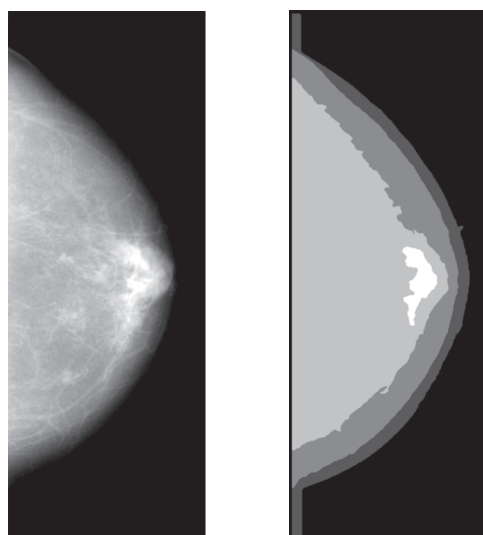


(左) 304 例の加工済みデータセットにおける平均予測誤差と、(右) ATVSAR と最新の予測法複数との比較 (左図より 77 ms, 150 ms, 310 ms を抜粋)

(6) 医師の診断論理を用いた高性能な計算機支援診断システムの開発

本研究では、医用画像診断の計算機による支援 (computer-aided diagnosis: CAD) システムを用いて、医師の読影業務負担軽減と、それによる医療費削減を目的としている。このために、従来の画像処理ならびにパターン分類技術に、医師の高度な専門知識に基づく診断論理を反映させた、新しい高性能な画像診断アルゴリズムを開発している。本年度は、女性の部位別がん罹患率第1位の乳癌の早期発見に有効なマンモグラフィを対象に、乳癌の典型的な画像所見の一つである腫瘍陰影を検出する新しい手法を提案した。

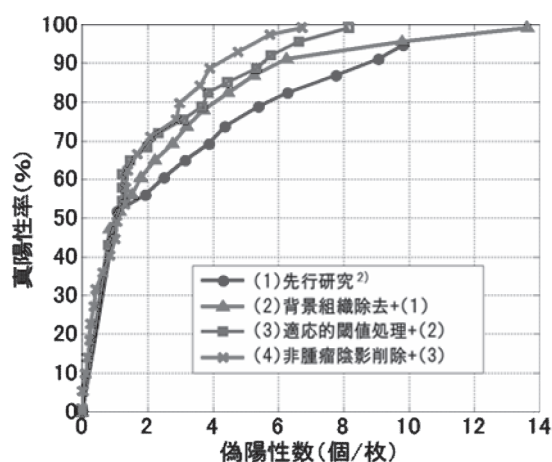
腫瘍陰影は、定量的な特徴解析が難しいとされており、臨床的に有効な自動検出法は確立されていない。そこで、腫瘍陰影の検出性能向上を目的として、正常乳腺輝度の透過的重畳が病変特徴の定量化に与える悪影響を低減する新しい手法を提案した。すなわち、重畳されている乳腺組織を空間的特徴に基づき除去して病変そのものの形状特徴を抽出するとともに、乳腺組織に起因する輝度の空間分布を、混合ガウス分布を用いてモデル化 (Gaussian mixture model: GMM) して病変輝度との差異を適応的に判定する手法である。確定診断情報付きの世界的に標準的な臨床データベースである digital database for screening mammography を用いた検出実験の結果を、Free-response receiver operating characteristic (FROC) 解析により評価したところ、提案法は病変を正しく病変として検出できた割合である真陽性率が 90% のとき誤検出を意味する偽陽性数が 4.3 個/枚であった。これは、従来法が同じ真陽性率のとき偽陽性数が 8.8 個/枚であったことと比較すると、高い検出率を保ったまま誤検出数を 40% 削減できたことになり、提案法の有効性が実証された。



原画像

クラス分類画像

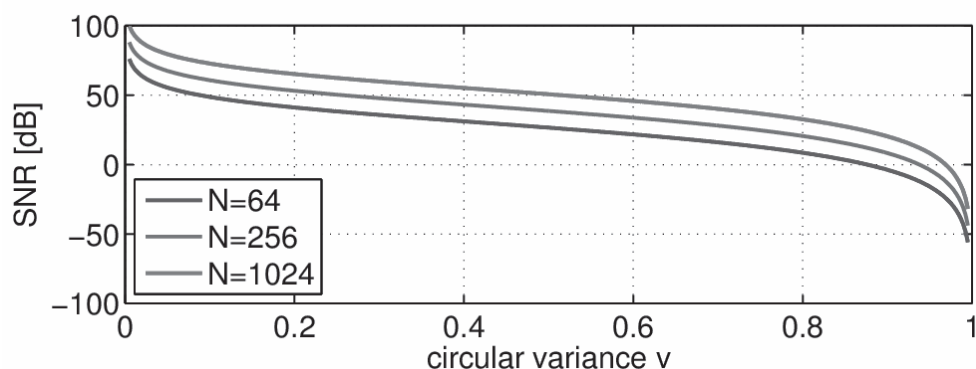
GMM を用いた分類結果画像例



FROC 曲線による性能比較結果

(7) 方向統計学に基づく高精度信号マッチングのための技術開発

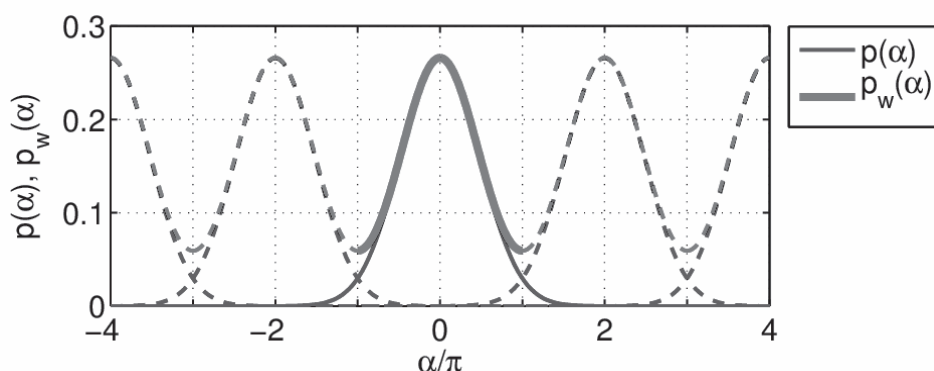
本研究は、位相限定相関(POC: Phase-Only Correlation)関数を用いた信号マッチング技術に関して、その理論的な妥当性および性能限界を明らかにすることを目指している。さらに、「方向統計学」という新しい方法論に基づく POC 関数の統計的解析法の確立を目指している。本手法では、2つの信号間の位相スペクトル差を確率変数と仮定し、POC 関数の期待値と分散を理論的に導出することにより、位相スペクトル差の変化に対する POC 関数の挙動を解析している。さらに、方向統計学の考え方を導入し、位相スペクトル差が角度データであることを考慮した上での統計的解析を行っている。平成 25 年度では、著者らが先に提案した、方向統計学に基づく POC 関数の統計的解析法をもとにして、POC 関数の信号対雑音電力比(SNR: Signal-to-Noise Ratio)を、位相スペクトル差の円周分散を用いて非常に簡単な関数で表せることを理論的に示した。この結果より、位相スペクトル差の円周分散の増加に伴い、POC 関数の SNR が単調減少することが示せる(下図)。すなわち、位相スペクトル差の雑音成分が増加するにしたがい、POC 関数における信号成分に対する雑音成分のエネルギーの割合が増加する。



位相スペクトル差の円周分散(circular variance)に対する POC 関数の SNR (N : 信号長)

さらに、位相スペクトル差の確率分布として、ある線形確率分布の確率密度関数を単位円上に巻き込むことにより得られる巻き込み分布(Wrapped distribution)を仮定したとき(下図)、POC 関数の期待値

と分散の値がもとの線形確率分布を仮定した場合の結果と一致することを理論的に示した。この結果は、位相スペクトル差にガウス分布などの線形確率分布を仮定してきた従来の統計的解析手法の結果も、方向統計学の概念を用いて説明できることを意味している。



線形確率分布の確率密度関数 $p(\alpha)$ と巻き込み分布の確率密度関数 $p_w(\alpha)$

○最先端学術情報基盤研究室

最先端学術情報基盤研究室 (CSI 研究室) は、国立情報学研究所 (NII) による最先端学術情報基盤 (CSI) 構築のための委託事業を主に担当する研究室として平成 18 年に設置された。委託事業終了後の平成 25 年度は、同 CSI 構築のための支援を主に担当する研究室として存続し、以下の研究開発業務を行なった。

(1) eduroam の運用・開発

平成 18 年度に国立情報学研究所ネットワーク運営・連携本部認証作業部会 eduroam グループ (主導は東北大学) が主体となって日本に導入した国際無線 LAN ローミング基盤 eduroam について、国内運用の責任機関として運用実務と研究開発を継続し、以下の成果を得た。なお、一部の活動については NII の客員教員の活動、および、NII 共同研究「大学間無線 LAN ローミング eduroam の耐災害性・耐障害性・大規模化を実現する認証連携基盤の開発」と連携した。

➤ eduroam の運用強化と国内機関の eduroam 接続支援

eduroam 及び国内の eduroam JP の運用について、eduroam JP トップレベル RADIUS サーバの管理・運用を行うとともに、安定運用に向けてサーバの更新、冗長性確保やネットワークの強化を行なった。新規接続機関をサポートして、平成 25 年度末までに 20 機関を新規接続し (総数 66 機関)、国内の学術情報基盤の高度化に貢献した。また、ウェブサイト www.eduroam.jp にて eduroam 対応キャンパス無線 LAN システム構築のための技術情報や、端末設定マニュアルなどの情報公開を行なった。

➤ eduroam / eduroam JP の国内外への情報展開・教育活動

36th APAN meeting (8 月、韓国テジョン市)、および、eduroam の開発元 TERENA が主催の会議 TF-MNM (10 月、マラガ、および、2 月、チューリッヒ) に参加して、研究開発および運用に関して諸外国との情報交換と報告および議論を行なった。

日本をはじめアジア各国には国内に千以上の大学を抱える国が多く、欧州諸国の大学数と比べて桁違いに多いため、欧州発祥の eduroam の仕組みそのままでは導入・運用が困難とされ、運用管理

性も大きく異なる。日本は eduroam の大規模化や運用コスト低減を実現する技術の開発で中心的な役割を担っており、上記の会議等を通じて、技術提案・供与を行なった。

TERENA の Global eduroam Governance Committee (GeGC、2010 年 11 月発足)に本年度も引き続きアジア太平洋州の代表として参加(選出による、二期目)して、eduroam の国際運用に貢献した。

大学 ICT 推進協議会年次大会および各種学会大会等にて講演するなど、キャンパス無線 LAN ローミングの運用と開発に関して情報展開と普及啓発活動を行なった。

(2) eduroam 代理認証システムの機能拡張

平成 20 年度に実証実験としてサービス提供開始した eduroam 代理認証システムは、機関ごとに RADIUS サーバを設置しなくても容易に利用でき、eduroam 利用の裾野を大きく広げる役割を担っている。eduroam に参加しようとする機関が代理認証システムと商用無線 LAN サービス(eduroam 連携有り)の組み合わせを選択あるいは検討するケースが増えており、既に数千人規模で利用している機関もある。また、期限付きのアカウントを容易に発行できることから、自前の RADIUS IdP(ID プロバイダ)を有する機関においても、国内学会・国際会議等のゲストアカウントの発行のために同システムが利用されている例がある。代理認証システムや eduroam の利便性・安全性を向上させ、より多くの機関にとって使いやすくなるように、以下に示す二つの機能を開発し、プロトタイプシステムとして実装した。

「オンラインサインアップシステム」は、エンドユーザがウェブ画面から eduroam アカウントを申請できるようにするものである。従来の代理認証システムでは、機関管理者が一括取得したアカウントをエンドユーザに配布する部分が手動のため、ある程度の人数を擁する機関では利用が難しいという問題があった。追加したシステムでは、機関の構成員(学生、教職員)が自機関のメールアカウントを有していることを前提に、メールアドレスによるフィルタリングと間接的な利用者認証を経て、機関管理者の承認操作の後に eduroam アカウントが発行される。機関管理者は承認または拒絶の操作を行うが、アカウントの配布はシステム上で電子的に行われるため、手間の削減につながると期待される。この機能は各機関の管理者が有効・無効を選択できる。

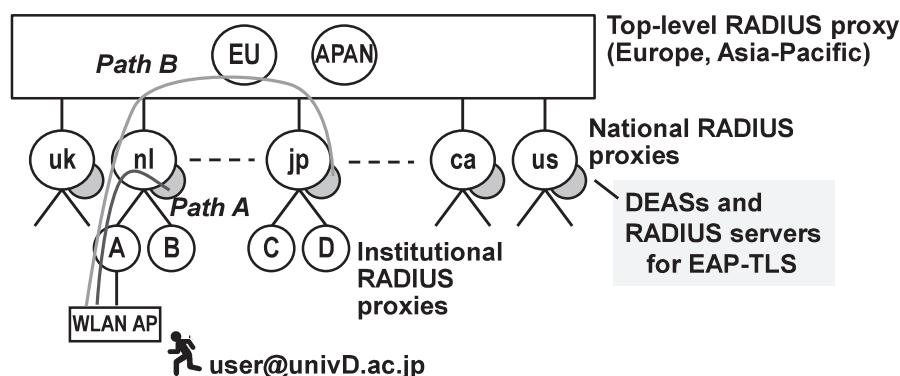
「クライアント証明書発行システム」は、ID・パスワードに基づく認証方式に加えて、クライアント証明書を利用する EAP-TLS 認証をサポートするものである。従来の PEAP 方式では、端末のサブライアントの作りによっては、無線 LAN 基地局や認証システムのトラブルないし相性等の問題によって認証が失敗した際に、端末が記憶していた ID・パスワードが消え、利用者が再度打ち直す必要が生じるなど、利便性の問題があった。入力画面での打ち間違いも少なくないことから、eduroam 全体の利便性の低さにもつながっていた。一方、クライアント証明書を用いる手法では、端末に一旦インストールされた証明書が消失することはないが、電子的に安全な手段で端末にインストールする必要があり、証明書配付の手間が問題であった。開発したシステムでは、代理認証システムの eduroam アカウント(ID・パスワード)を入手したエンドユーザが、自らウェブ画面で証明書の発行を要求し、端末にダウンロードおよびインストール可能である。この機能は各機関の管理者が有効・無効を選択できる。また、同システムは後述する(3)の耐災害・耐障害 eduroam システムの実現にも役立つ。

以上、「オンラインサインアップシステム」は多数の機関を擁する国々でも有用性が高いと考えられ、「クライアント証明書発行システム」は EAP-TLS 認証をサポートすることで、安全かつ利便性の高い eduroam の実現に貢献が期待されることから、TERENA のミーティング等を通して国際的に方式提案を行なった。

(3) 耐災害・耐障害 eduroam の開発

東日本大震災の経験より、認証システムの耐災害性の重要性が明らかになってきた。一方で、世界的な RADIUS プロキシ・ツリーを利用する eduroam の現行の認証システムでは、特に長距離での利用において認証が不安定になったり、中間のプロキシの障害によって利用不可能になったりするなど、安定性や耐障害性の面で問題がある。また、大規模災害において所属機関の認証システムが被災したり、大規模停電などで利用不能に陥ったりした場合は、ネットワーク上のアイデンティティが失われることにより、ネットワークや各種サービスの利用が困難になる。昨年度は、代理認証システムの耐災害性・耐障害性向上に取り組んだが、本年度はこれを更に発展させた。

eduroam の耐災害性と耐障害性の向上が、基本的には同様の仕組みで達成できることに着目して、昨年度の総務省委託研究(平成 23 年度補正予算)「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発(大規模災害においても通信を確保する耐災害ネットワーク管理制御技術の研究開発)」の成果を応用して、耐災害性と耐障害性を有する新しい eduroam のアーキテクチャを開発した。本アーキテクチャでは、各国の RADIUS プロキシの最寄りに代理認証システムと同様の集中型 IdP を設置し、クライアント証明書による EAP-TLS 認証を利用することで、基地局のそばで認証処理を局所的に完結させる(ローカル認証)(下図)。認証に必要な各国の CA 証明書は、集中型 IdP が事前に収集しておく。同システムを導入している国では、図中の Path A の経路で認証処理が完結し、国にまたがる長距離のリレーが不要となることから、効率と安定性、耐障害性の向上が期待される。同システムを導入していない国においては、Path B の経路となるが、各機関の IdP が存在せず、国レベルのプロキシで認証処理が終端されることから、認証要求のホップ数が削減され、安定性向上に寄与する。また、所属機関が被災した場合でも、地理分散によって冗長化された代理認証システムによって、国内外の他機関でのネットワーク接続が可能となる。



代理認証システムを利用した耐災害・耐障害 eduroam アーキテクチャ

(4) 災害時避難所等におけるネットワークリソース制御技術の研究開発

総務省の委託研究(平成 24 年度予算)「大規模災害時に被災地の通信能力を緊急増強する技術の研究開発(災害時避難所等における局所的同報配信技術の研究開発)」に参画して、NEC クラウドシステム研究所と共同で以下の研究開発を行った。この研究の遂行のために、産学官連携研究員 1 名を研究室に受け入れた。

東日本大震災では、緊急時の通信手段の一つとして無線 LAN 端末の利用が有効だった事例が報告されている。一方で、現在の公衆無線 LAN では、端末混雑時に通信効率が著しく低下するという問題が指摘されている。このため、例えば警察や消防、自治体といった緊急性を有する利用者の通信を優先

して処理するなど、利用者属性に応じた優先度を割り当てる仕組みが必要である。本研究では、災害時の避難所のような無線端末過密環境において、利用者情報を基に同時アクセス端末数の制御を行うシステムを開発した。無線 LAN のフレームの衝突を抑制する技術を開発し、DTN(Delay/Disruption Tolerant Network)技術と組み合わせることにより、基地局あたりの収容端末数を制限しながら、多数の端末で局所的な同報配信を実現した。また、利用者優先度を考慮した送信確率の制御によって、優先通信を実現した。

本研究の成果は、eduroamや公衆無線LANにすぐに導入できるものではないが、学校の教室やホール、会議施設、大規模イベントの会場等におけるネットワーク利用・情報配信にも通じる課題であることから、応用の早期実現が課題である。

これらの研究成果を、ITRC 研究会、電子情報通信学会総合大会などで発表した。