

8 サラウンディング・コンピューティング

超低消費電力での実現が可能な、データ駆動型プロセッサを用いた、次世代型のネットワークシステムの研究開発について述べる。この研究内容は、従来のUNIXシステムのようなコマンドによるノードの駆動ではなく、ネットワーク上に流通するパケットによって運ばれるデータそのものによって、ノードが自動的に駆動しさまざまな動作を可能にする。パケットネットワークで提案されたアクティブノードのようにルーティングを変更するというようなものではなく、データパケットを解析し、セキュリティの問題を解決した後、データの要求するプロセッサノードの動作を実現するものである。このようなノードを基盤としたサラウンディング・コンピューティング技術を確立した。さらに、サラウンディング・ネットワーク環境で高精細情報を柔軟に転送・再現するための処理技術の研究開発と実証実験を推進した。本稿では、サラウンディング・コンピューティングの概要について述べ、検証実験の結果から、読者に対して次世代のユビキタスコンピューティングを提案する。

福本昌弘^{*1}

^{*1} 高知工科大学工学部情報システム工学科

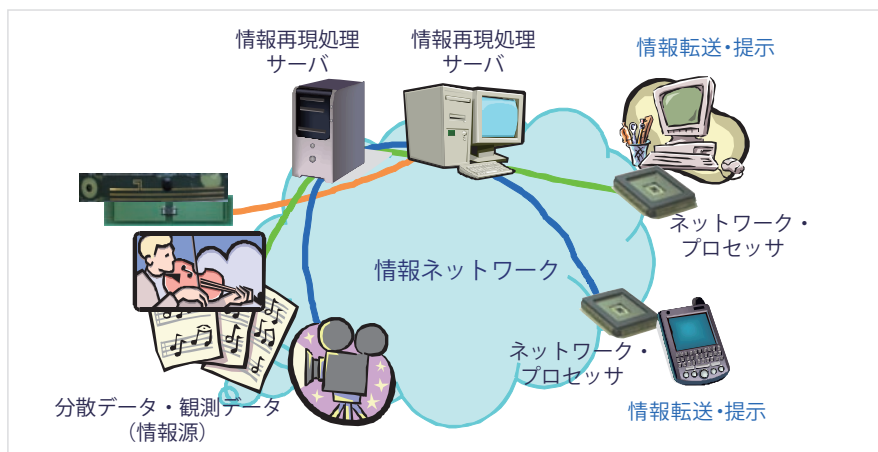
// サラウンディング・コンピューティング環境 //

サラウンディング・コンピューティングとは、JGN2研究開発プロジェクトにおいて、四国リサーチセンターが担当した、プラットフォーム・アプリケーション技術に関する研究開発の1テーマである。サラウンディング・コンピューティング技術は、きたるべきユビキタス・ネットワーク時代における、しなやかで快適な情報環境の実現を目指すものであり、JGN2のような次世代超高速ネットワーク上でやりとりされる膨大な情報をユビキタス環境で効率的に配信し、利用者の望むような形態で提供するためのシステムとなる。

快適な情報環境を実現するためには多様なサービスを要求に応じて提供することが重要である。特に負荷が大

きな処理を施すためには、ネットワーク上に分散する資源を有効に活用するための技術が求められる。ユビキタス環境では、遠く離れた複数地点からデータを収集してリアルタイムで処理するといったこともできるが、データの流れを考えたときデータを集約する必然性はそもそもなく、分散処理することが自然である。そこで、ネットワークや情報機器の機能を意識せずに、ネットワーク上の計算資源やデータベース資源を自由に活用できる、進化するユビキタス環境であるサラウンディング・コンピューティング環境の確立を目指した¹⁾。

情報ネットワーク上にあふれている情報をより有益なものとして活用するには、あらゆる情報の有機的な連携や、分散している情報の自動配信が求められる。そこで、**図-1**に示すようなサラウンディング・コンピューティ



● 図-1 サラウンディング・コンピューティング環境における情報転送・再現

ング環境で提供される情報への高度な価値の付与とその情報を転送・提示するための方式についての研究を、次世代高機能ネットワーク基盤技術・利活用技術に関する研究開発プロジェクトのテーマとして実施した。

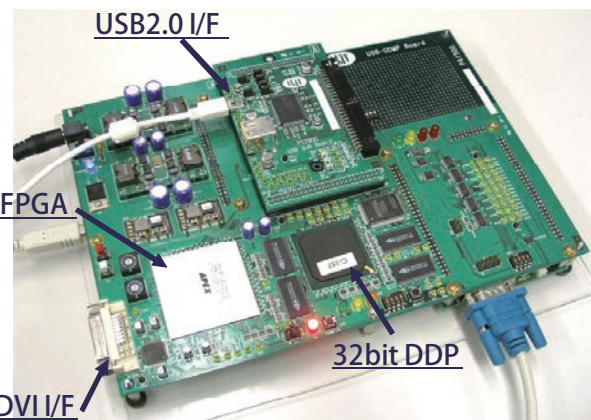
さらに、多様な価値が付与された情報を転送するためには、送信するデータの種類や用いる通信媒体、その他外的要因によらずリアルタイムでの送受信や再現を可能にすることが求められる。そこで、高速・高効率符号化処理、画像・音声情報など多種多様な情報を統合的に再現するための信号処理システムの研究開発を行った。

本稿では、サラウンディング・コンピューティング環境での柔軟な伝送処理を実現するための、データ駆動型プロセッサ(DDNP)を用いたネットワーク・プロセッシングとアクセス系ネットワークとのセキュアな接続方式について示す。また、JGN2などの超高速・大容量ネットワーク上では大量の情報が転送されているが、ユビキタス環境での情報提示のためには、あらゆる情報通信機器でユーザの要求を満足する方式が必要である。それをサラウンディング・コンピューティング環境で実現するために開発した、音響空間を携帯情報機器でも効果的に再現できる方式について説明する。

//DDNP を用いたネットワーク・プロセッシング//

近年、ネットワークの伝送速度の劇的な向上と、モバイル端末の性能向上に伴い、モバイル・コンピューティングが急激に普及している。さらに将来は、ユーザの周囲に偏在する、モバイル端末、情報家電、センサ等の多くのネットワーク接続可能な機器が相互に協調動作し、ユーザの移動に追従して、周辺環境に応じてダイナミックにネットワークを形成することでより能動的なコンピューティング環境が実現することが予想される。そこで、エンド端末のプロトコル処理、通信品質保証(QoS)制御、ユーザ認証、セキュリティ制御などを担うネットワークプロセッサ(NP)として、低消費電力で、かつ、ソフトウェア実現が可能なデータ駆動アーキテクチャによるデータ駆動型ネットワークプロセッサ(DDNP)の研究を行っている。

本研究では、ネットワーク内のQoS制御やセキュリティ制御を中央集約的に制御することが困難なネットワーク環境において、各端末が送受信するパケットストリームを検査し、選択的にフィルタリングする機構に着目する。これにより、レイヤ3/4ヘッダ情報とフィルタリング条件の照合を高速に行うパイプライン並列パケット分類方式を実現し、ネットワークエンドにおけるヘッダ情報の傾向からフィルタリングルールを最適化している。



●図-2 DDNP 評価ボード

【DDNPの基本構成】

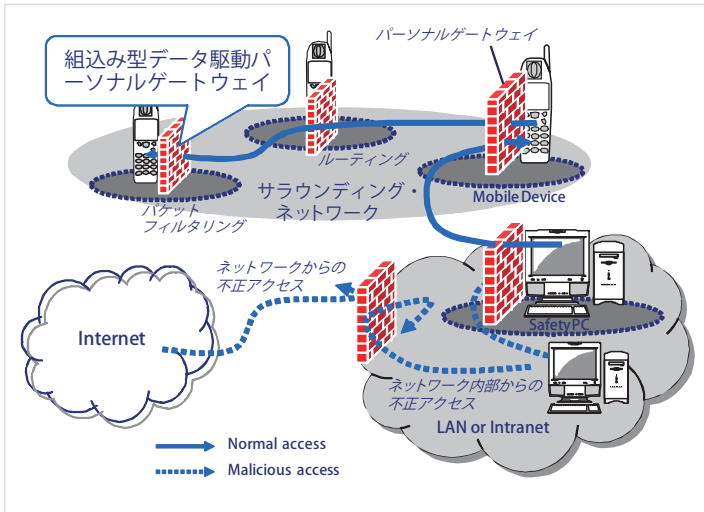
本研究は、図-2に示すDDNP評価ボードを用いて行った。

DDNPは、IPv4、IPv6を対象としたマルチプロトコル・パケット処理向けの命令セットを搭載したデータ駆動型マルチプロセッサ・チップである。DDNPは、主に32bit演算処理を行う整数演算ナノプロセッサ5個、主に8bit、16bit演算処理を行うSIMD演算ナノプロセッサ3個、主に外部メモリアクセスを行う機能メモリアノプロセッサ2個をチップ上のパケット・ルータを介して相互に接続したチップ・マルチプロセッサ構成となっている。マルチプロトコル処理に専用化した命令として、CRC演算、ラップアラウンド加算、オクテット単位での各種演算命令が搭載されている。このDDNPチップは、0.18 μ mCMOSで実現され、IPv4、IPv6パケットが混在する条件のもとで、7.5MPPSの性能が達成できることが実証されている²⁾。

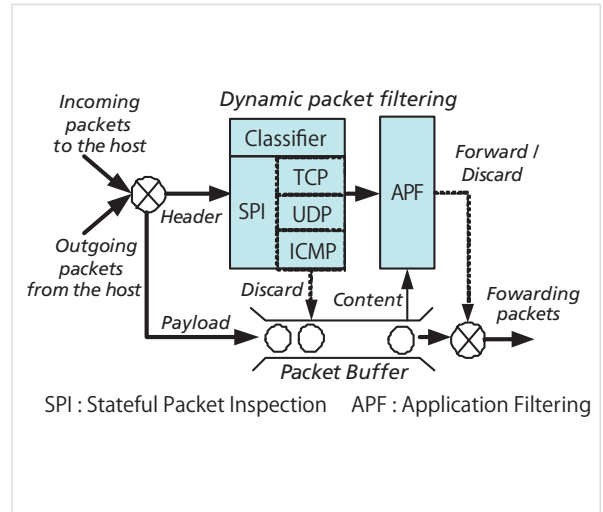
//DDNPの組み込みファイアウォールへの応用//

昨今、携帯電話やノートPCなどの個人用携帯機器の普及に伴って、ネットワーク用ファイアウォールに加えて、個人用ファイアウォールの需要が高まっている。しかし、現状の個人用ファイアウォールのほとんどはソフトウェアであり、端末のオペレーティング・システムがウイルス等に感染すると機能しなくなる。図-3に示すような、オペレーティング・システムとは独立に動作可能なハードウェア・ベースの組み込み型ファイアウォール・プロセッサとして、DDNPを応用する検討を進めた³⁾。

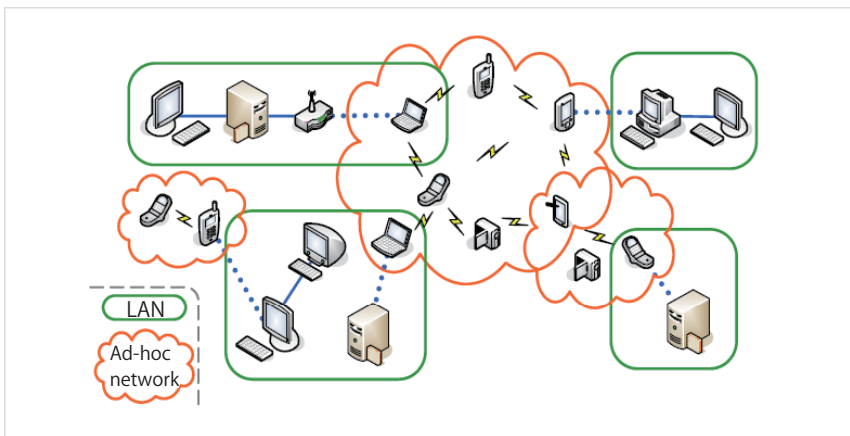
図-4に組み込み型ファイアウォールの概要を示す。レイヤ4パケット(TCP)の静的フィルタリング、動的フィルタリングSPI(Stateful Packet Inspection)、および、URLフィルタリングの機能を対象として、FPGA上に



●図-3 DDNPによるパーソナルゲートウェイ



●図-4 組み型ファイアウォールの機能概要



●図-5 共存共栄するネットワーク

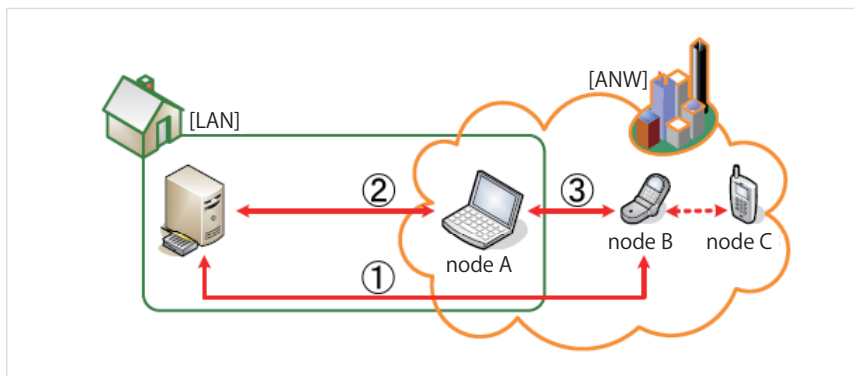
拡張 DDNP プロセッサを実装し、単一プロセッサの性能を実測した。実測結果より、FPGA 上に実装する単一プロセッサでも 100Mb/s を超えるリンク速度でファイアウォール機能を実現できる。これはすなわち、データ駆動型プロセッサ上に実装すれば 1Gb/s 超のスループットを実現できることを表している³⁾。

// 仮想セキュア・ゲートウェイによるアドホック・ネットワークの構築 //

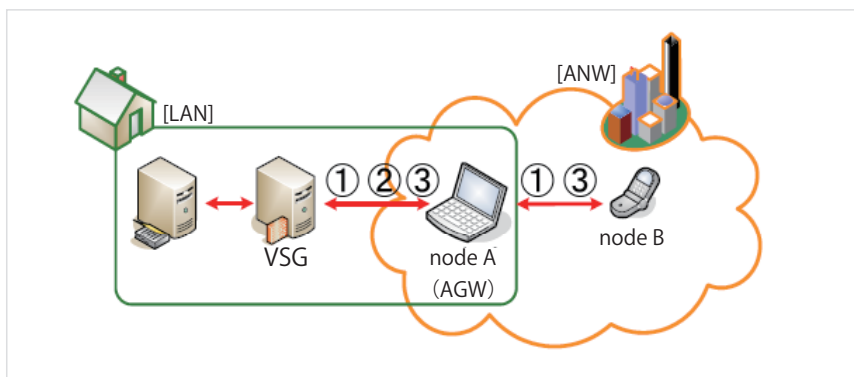
無線通信技術の発展に伴い、将来アドホック通信機能を始めとする、複数の通信形態を持ったモバイル端末が多く登場し、アドホックな環境が多くなるだろう。そして LAN 内に存在するモバイル端末が、アドホック・ネットワーク (ANW) にも属するようになる。そうすると、LAN と ANW 間のシームレスな通信が必要となり、**図-5** のような共存共栄する形態が一般的になる。その場合、LAN と ANW 間でセキュアなネットワークを維持するためには、ゲートウェイセキュリティが重要になる。従来通り、固定端末がセキュリティ処理を行う場合

もあるが、必ずしも固定端末がゲートウェイになるとは限らず、モバイル端末がゲートウェイにならざるを得ない状況も考えられる。しかし、ゲートウェイに位置するすべての端末が、セキュリティ処理を行う従来通りの方法では、モバイル端末のリソースに制約があるため困難である。

図-5 に示す環境では、さまざまな通信経路 (PATH) が考えられる。一般には、ANW ではその性質から自身のセキュリティポリシーを設定しにくいので、ANW 内のノードは、特定の LAN に属している場合にのみ、そのセキュリティ管理下に置かれると考えるのが妥当である。よって、ANW 内のノード同士の通信において、両者が LAN に属さない場合は管理対象外になる。以上のことから、ある LAN とそれに属さない ANW ノードの間で生起する通信経路のセキュリティを維持すれば、共存環境でのセキュリティが維持されることが分かる。すなわち、想定される PATH は**図-6** に示す 3 パターンとなる。ただし、ANW 内でのアドホックルーティング等においては、node C から LAN への通信時、node B が中継を行う場合がある。その際あらかじめ設定しておい



●図-6 共存環境絵の PATH



●図-7 VSGが存在する環境での PATH

た中継用 port のみを, node B 自身が保護すると仮定する.

図-6のネットワークで, セキュアなネットワークを維持するためには, LANとANWとのゲートウェイに位置するnode Aが, セキュリティ処理を行う必要がある. しかし, node Aはモバイル端末であり, 処理能力が低く, 電源が限られているため, セキュリティ処理を行うのは困難である. そこで, 図-7に示すようにモバイル端末に代わり, リソースに余裕のあるLAN内の固定端末が仮想セキュアゲートウェイ (Virtual Secure Gateway: VSG) として動作することでセキュアなネットワーク環境を実現する¹⁾.

// サラウンディング・コンピューティング環境での実時間音場再生システムの構築 //

近年, HDVやレコーディング技術の進歩により, 高解像度の映像やマルチチャネルの音響データを再現することが可能になった. しかし, 高解像度化や高音質化のみでは十分な臨場感を得ることができない. これは, 再生された音は減衰や反響といった影響を受けるためであり, 忠実に再現するにはこれらの影響を除去する必要がある. また, JGN2のような高機能・超高速ネットワークが普及すれば, あらゆる情報をいつでも・どこでも利用できる環境が整い, それに伴って携帯情報端末などでも高品質な情報の再現が求められるようになる. これらの要求に応えるためには, ネットワーク上の計算資源を

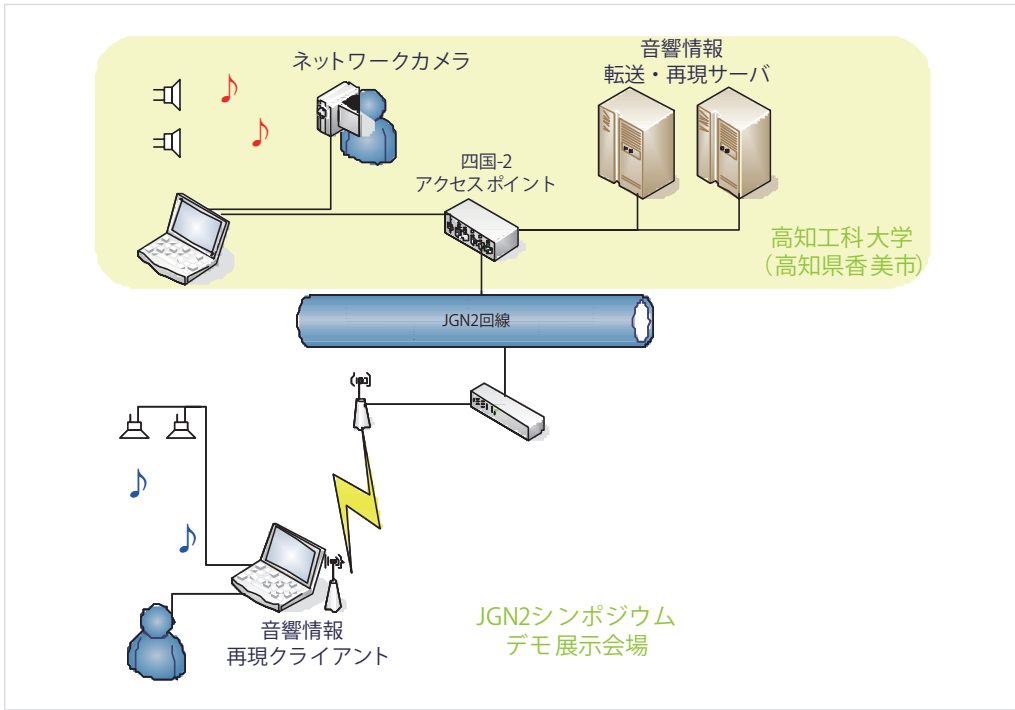
有効に活用して必要な信号処理と情報配信・再現をリアルタイムで実行可能なシステムを構築できればよい. しかし, これらの処理を実時間で実行することは容易ではない. 本研究では, サラウンディング・コンピューティング環境において, ネットワーク上のリソースを活用することにより, 再現環境に依存しない音響再現システムを実現した.

【サラウンディング・コンピューティング環境での信号処理方式】

サラウンディング・コンピューティング環境では, ネットワーク上の計算資源を有効に活用できるため, このような環境では従来では困難とされていたような柔軟な信号処理を実現することができる. そこで, 計算量を状況に応じて適応的に変えることが可能で並列処理にも適した適応信号処理方式を開発した⁴⁾. この方式を用いることにより, 音響信号処理において実時間処理と性能の大幅な向上が可能になった.

【情報転送・再現システムの実現】

再現空間側の機器(クライアント)の処理負荷を軽減するため, 超高速ネットワークを介して利用可能な計算資源である処理サーバで処理を施した音響情報を転送するシステムを実現する. 本手法において, クライアント側の処理はサーバから転送される音響情報の再生を行い, 同時に録音結果をサーバに転送するのみである. サーバ



● 図-8 音響配信・再現システム構成

では録音結果から音響空間再現を行う。このとき、サーバにかかる負荷を分散させて実時間処理を実現するため、複数の音響空間再現サーバを用いることで処理能力の向上をはかることができる⁴⁾。このシステムの有効性をネットワーク上で評価するために、JGN2シンポジウム 2008 デモ展示会場において、図-8のような構成で実証実験を行い、クライアント側に処理負荷をかけずに音響情報を再現することが確認できた。

参考文献

- 1) 福本昌弘, 岩田 誠, 酒居敬一, 吉田真一, 妻鳥貴彦, 浜村昌則, 島村和典: サラウンディング・コンピューティング技術による情報転送・再現システム, 電子情報通信学会技術研究報告, IA2007-52, Vol.107, No.449, pp.69-72 (Jan. 2008).
- 2) 岩田 誠, 寺田浩詔: セルフタイム回路によるデータ駆動型プロセッ

- サとその応用, 集積回路研究会, ICD2004-197, pp.53-58 (Dec. 2004).
- 3) Morikawa, D., Iwata, M. and Terada, H.: Super-Pipelined Implementation of IP Packet Classification, Journal of Intelligent Automation and Soft Computing, Vol.10, No.2, pp.175-184 (Aug. 2004).
- 4) 福本昌弘: サラウンディング・コンピューティング環境における適応信号処理方式, 第 22 回信号処理シンポジウム, C6-3 (Nov. 2007). (平成 20 年 8 月 1 日受付)

福本昌弘

fukumoto.masahiro@kochi-tech.ac.jp

1995 年東京工業大学大学院博士課程修了。博士 (工学)。同年高知工科大学設立準備財団専門員, 1997 年高知工科大学講師, 2001 年同大助教授, 2007 年同大准教授, 現在に至る。IEEE, 電子情報通信学会各会員。

