

## 5-5 サラウンディング・コンピューティング技術の研究開発

### 5-5 *Research and Development of Surrounding Computing Technology*

福本昌弘 岩田 誠 濱村昌則 島村和典  
FUKUMOTO Masahiro, IWATA Makoto, HAMAMURA Masanori,  
and SHIMAMURA Kazunori

#### 要旨

より快適な情報環境を実現するためには多様なサービスを必要に応じて提供することが重要であり、特に映像など負荷が非常に大きな情報を処理するためには、ネットワーク上に分散する資源を自由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、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、ネットワークや端末の機能を意識せずに、ネットワーク上の計算資源や DB 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を確立する。

本稿では、サラウンディング・コンピューティング技術の基礎であるユビキタス環境で有用なデータ駆動プロセッサによるファイアウォールと、情報再現に適した信号処理方式について述べている。

For comfortable information networking, it is necessary to provision variety of services for responding the requirements and to flexibly use of the distributed resources. In the "ubiquitous" environment, the distributed processing is natural to push data for real-time application. The purpose of this research is to establish the "surrounding computing technology", which is evolution of the ubiquitous environment.

In this paper, an embedded data-driven firewall processor and a signal processing method that is suitable for an information reproduction are proposed.

#### [キーワード]

ユビキタス環境, データ駆動型プロセッサ, RFID, 音響空間再現  
Ubiquitous environment, Data-driven chip-multiprocessor, RFID, Sound field reproduction

## 1 まえがき

ユビキタス環境では、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。そこで本研究開発では、ネットワークや端末の機能を意識せずにネットワーク上の計算資源や DB 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す。

情報ネットワークを介して転送される情報をより有益なものにするには、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処理が求められるため、サラウンディング・コンピューティ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・提示するための技術を開発する。さらに、多様な価値を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う。

これらの目的を達成するための基礎として、まず、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を用いたネットワーク・プロセッシングについて示す。次に、ユビキタス環境での快適なサラウンディング・コンピューティング環境創出のために不可欠である各種センサによる情報収集を実現するための、RFID リーダ・ライタの伝送性能について示す。また、JGN II 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、いつでもどこでも、といったユビキタス環境での情報提示のためには、ユビキタス端末での情報再現を可能にする情報提示方式が必要である。そこで、まず音響空間をユビキタス端末でも効果的に再現できる方式を提案する。

## 2 DDNP を用いたネットワーク・プロセッシング

近年、光増幅技術や光波長多重技術 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 等、光伝送技術の発展により、あらゆる形式の情報を自由に疎通できる情報環境の実現がまさに可能になるろうとしている。このような情報ネットワーク上で多様な新サービスを柔軟に実現するためには、多様なパケット流を受容し、それぞれのリンクの実速度に対応した処理能力を持つ超高速プログラマブル・ルータチップの実現が中心的な課題となる。近年、これらの要求を満たすべく、プログラム可能な高速パケット処理プロセッサである、ネットワーク・プロセッサ NPU (Network Processor Unit) が各所で開発されつつある。

本研究では、将来のサラウンディング・コンピューティング環境のキー・デバイスとして、省電力・並列処理能力に優れたセルフタイム回路によるデータ駆動型チップ・マルチプロセッサをネットワーク向きに最適化した、データ駆動型ネットワーク・プロセッサ DDNP (Data-Driven Network Processor) の基本構成とその応用例について検討を進める。

### 2.1 DDNPの基本構成

DDNP は、ATM をはじめとして、IPv4、IPv6 を対象としたマルチプロトコル・パケット処理向

き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ナノプロセッサ 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  $\mu$ m CMOS で

実現され、IPv4、IPv6 パケットが混在する条件の下で、7.5MPPS の性能が達成できることが実証されている [1]。

### 2.2 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。したがって、我々は、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ている [2] [3]。図 1 にその概要を示す。

現在までのところ、レイヤー 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 (Statefull Packet Filtering) 及び URL フィルタリン

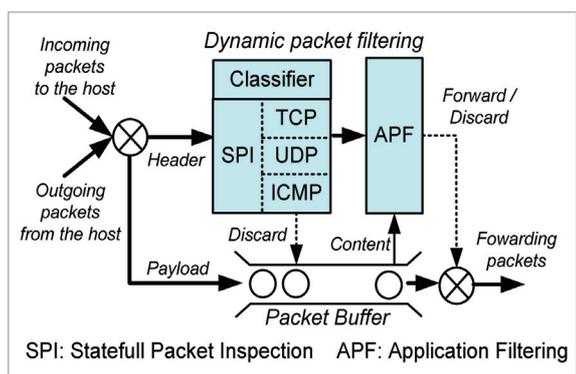


図 1 組み込み型ファイアウォールの機能概要

グの機能を対象として、FPGA 上に拡張 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。その結果を表 1 に示す。この結果からも分かるように、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見通しが得られている [3]。今後は、各個人がより快適で安全にサラウンドインテグなネットワーク環境を活用するために必須となる、コンテンツフィルタリングの高速化手法等の検討を進める予定である。

表 1 DDNP のフィルタリング性能

	Static Filtering	SPI	URL Filtering
Throughput [IP Packets/sec]	3.5M-5.0M	329K	9.1K-1.5M
Program size [DDNP Nodes]	16	443	1027

### 3 RFID リーダ・ライタの精度予測

RFID とは微細な無線 IC チップのことであり、内部メモリに記録された情報をリーダライタ（質問器）からのリクエストに応じて送り返す [4]。電池非搭載のパッシブ型 RFID チップでは、リーダライタから送出される搬送波を整流し、これを動作に必要な電源として利用する。ここでは、チップとリーダライタのアンテナにパッチアンテナ（マイクロストリップアンテナ）を用いた場合の読み書き精度及び読み書き可能なレンジを予測する。

#### 3.1 4 素子円状配置アレーアンテナ

Array Antenna とは複数の小さな素子アンテナを並べ、一つのアンテナとして機能させるというもので、素子アンテナの一つ一つに受信信号の位相や振幅を調整し、それらを合成することで期待している電波を受信しようとする方式である。本研究では、4 素子の Circular（円状）Array Antenna を用いた（図 2）。

図 2 のようにアンテナ素子  $K$  素子を半径  $R$  の円周状に等間隔で配置すると、 $k$  番目 ( $k=0, 1, \dots, K-1$ ) の素子の  $x$  軸からみた配置角は

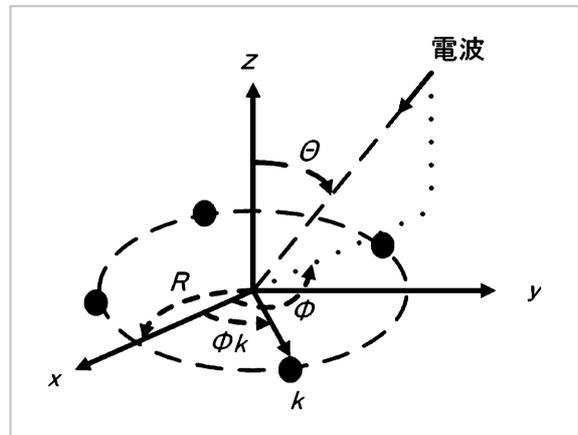


図 2 円状配置アレーアンテナ

$\phi_k = 2k\pi / K$  [rad] として与えられる。また本研究では、 $x$  軸から  $\pi/4$  [rad] だけ初期配置角を回転させた素子配置についても検討を行う。その場合には  $\phi_k = 2k\pi / K + \pi/4$  となる。このような場合の円状配置アレーアンテナの指向特性は、

$$F(\phi, \theta) = \sum_{k=0}^{K-1} A_k e^{j[\alpha_k + \frac{2\pi}{\lambda} R \cos(\phi - \phi_k) \sin \theta]}$$

となる [5]。ここで、 $A_k e^{j\alpha_k}$  は  $k$  番素子の複素重みを表しており、 $A_k$  は振幅定数、 $\phi_k$  は位相定数で 3 次元空間の角度  $(\phi_0, \theta_0)$  にメインビームを向けるときには

$$\alpha_k = -\frac{2\pi}{\lambda} R \cos(\psi_0 - \phi_k) \sin \theta_0$$

となる。4 素子円状配置アレーアンテナの指向特性の例を図 3 に示す。ただし、このときの各素子にはオムニアンテナを仮定している。

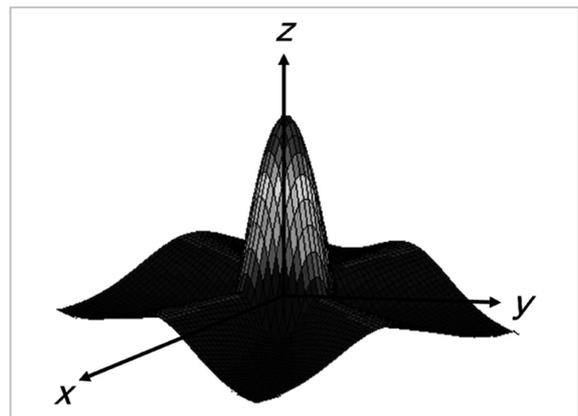


図 3 4 素子円状配置アレーアンテナの指向特性の例

### 3.2 パッチアンテナ

本研究では IC チップ及びリーダライタ共にパッチアンテナを用いるものとする[6]。想定するパッチアンテナの大きさは縦横  $2a=2b=\lambda_g/2$  ( $\lambda_g$  はパッチ内部の波長) とする。パッチアンテナの  $xz$  面 ( $\phi=0$ ) 及び  $yz$  面 ( $\phi=\pi/2$ ) を考えると、それらの面内での電界は次のようになる。

$$xz \text{ 面} (\phi=0): E_0 = -E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin\theta\right),$$

$$E_\phi = 0$$

$$yz \text{ 面} (\phi=\pi/2):$$

$$E_\phi = E_0 \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin\theta\right) \cos\theta}{\frac{2\pi}{\lambda} \sin\theta}, E_\theta = 0$$

### 3.3 計算結果

IC チップの配置とリーダライタの読み書き精度の関係について検討した。結果の一例を図4に示す。図4は、IC チップをリーダ(アレーアンテナ)から  $z$  軸方向に離し、その位置でリーダの  $xz$  平面内で IC チップを回転させた場合の特性であり、読み取り率 80% が得られる距離とチップ回転角の関係を示している。リーダのアンテナとしては(1): 1 素子パッチアンテナ、(2): (1) を素子と

する 4 素子円状配置アレー、(3): (2) を要素とする 4 素子円状配置アレー(計 16 素子)を仮定した。図4より、(3)のリーダを用いることで読み取り率 80% が得られるチップ位置を拡大できることが分かる。

## 4 音響情報再現システム

本節では、構成が最も単純で実現容易なステレオ型音響情報再現システムを提案する。要求される音響空間を再現させるにはスピーカ(2次音源)からマイク(制御点)までの伝達特性の影響を打ち消す、すなわち伝達特性の逆特性を近似する必要がある。現在までに逆特性を近似する手法についてはシステム論的立場から様々な検討がなされてきた。現在最も有効とされている手法に MINT 理論に基づいた多チャネル-多点制御系がある[7]。これは制御点数  $M$  に対し 2 次音源数を  $M+1$  用意することで、逆特性の推定と同時にクロストーク現象を除去し音の再現を可能にしている。しかし多くのスピーカを用いることから制御系が複雑になってしまう。そこで、制御点数 2 に対し 2 次音源数 2 で構成される新たな制御系を提案する。

### 4.1 多入力信号補正システム

ここでは提案する 2 チャネル-2 点制御系(多入力信号補正システム)について述べる。図5はその構成図である。適応フィルタ  $H_{11}$  は右側入力信号  $d_1(t)$  とフィルタ通過後の信号  $s_{11}(t)$  から出力誤差を算出しているため  $G_{11}$  の逆特性に近似させるフィルタとなる。クロストークの伝達特性  $G_{12}$  と  $G_{21}$  が互いに強い相関を持つことに着目すると、 $H_{21}$  によって得られるフィルタ係数は  $G_{12}$  の特性を予測するフィルタとして代用できる。これを右側補正フィルタ係数  $c_1$  として与えることで、 $G_{12}$  を通過するクロストーク成分を左側所望信号  $x_2(t)$  に近似させることができる。したがって、 $H_{11}$  で得られたフィルタ係数と  $H_{21}$  で得られたフィルタ係数を合成させたものを右側補正フィルタ係数として与えることによって、クロストークの影響を軽減させる働きを持つ補正フィルタが設計できる。ここで左右の補正フィルタ係数はそれぞれ

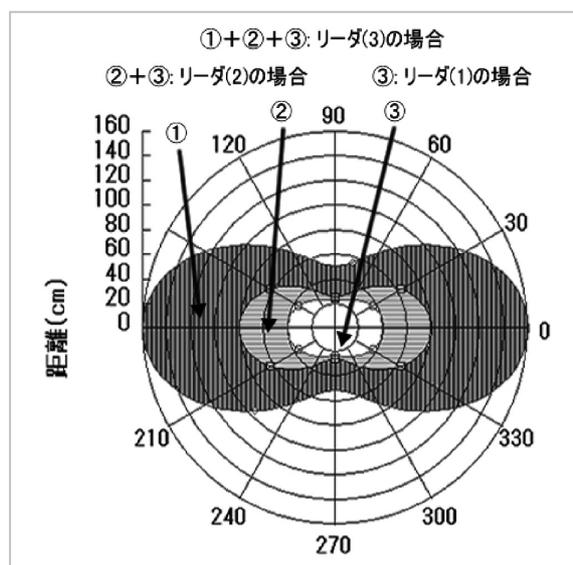


図4 読み取り率が80%以上となるリーダ-ICチップ間距離の推定値(ICチップの配置角と距離の関係)

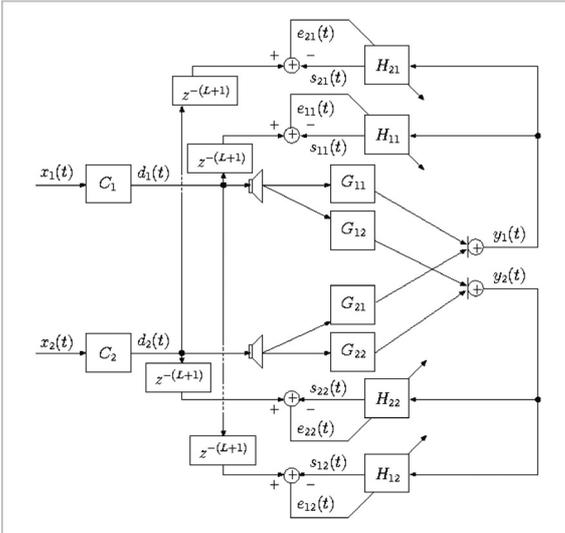


図5 多入力信号補正システムの構成

$$c_1, L(t+1) = w_1 h_{11, L}(t) + (1-w_1) h_{21, L}(t)$$

$$c_2, L(t+1) = w_2 h_{22, L}(t) + (1-w_2) h_{12, L}(t)$$

として与えられる。 $w_i$ は第1項と第2項に対する重み付けパラメータ ( $0 < w_i \leq 1$ ) である。適応フィルタ  $H_{ij}$  のフィルタ係数の更新には

$$h_{ij, L}(t+1) = h_{ij, L}(t) + \alpha \frac{y_{j, L}(t)}{\|y_{j, L}(t)\|^2} e_{ij}(t)$$

で示される学習同定法[8]を用いる。ここで  $\alpha$  はステップゲイン、 $e_{ij}$  はフィルタの出力誤差を示す。

#### 4.2 聴覚特性に基づく出力誤差の算出

出力誤差を算出する際に人間の聴覚特性に基づき重み付けを行うことで余分な周波数帯域を縮小し計算効率の向上を図る。人間の聴覚特性には騒音測定の際の指標として利用されている A 特性音圧レベル[9]を用いる。この特性から周波数毎の重み付け関数を

$$\phi(k) = \frac{\text{Res}(k) + |\text{min Res}|}{|\text{min Res}|}$$

により算出する。ここで  $\text{Res}(k)$ 、 $\text{min Res}$  はそれぞれ A 特性における周波数応答及びその中の最小値を示す。入力信号  $d_i(t)$  と適応フィルタの出力信号  $s_{ij}(t)$  に対して周波数領域で  $\phi(k)$  との積をとり、時間領域での差を新たな出力誤差  $e_{ij}$  として扱う。

#### 4.3 計算機シミュレーション

提案手法の有効性を検証するために、計算機によるシミュレーションを行う。ステップゲイン  $\alpha$  や重み付けパラメータ  $w_i$  の違いによる収束特性を比較する。

##### (1) シミュレーション 1

所望信号  $x_i(t)$  として成人男性の声を 8kHz でサンプリングした音声信号を与える。また、適応フィルタのインパルス応答長  $L=512$  とする。シミュレーションで用いる伝達関数は、反響性のある部屋においてスピーカとマイクロフォンの位置関係を変えたもの 3 パターンの実環境を想定し、原信号(白色雑音)と観測信号により実測したものをを用いる。ここでは聴覚特性の重み付けは行わず、ステップゲイン  $\alpha$  や重み付けパラメータ  $w_i$  の違いによる収束特性を比較する。評価量には次に示す原音に対する再現音の再現精度(SNR)を用いる。

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{E[x_j^2(t)]}{E[y_j^2(t) - x_j^2(t)]} \quad (1)$$

ここで  $E[\cdot]$  は期待値を表す。ただし、左右の所望信号に対して一切補正を行わずに算出した SNR と、提案手法を適用し算出した SNR との差を改善量とし評価を行う。

表 2 に 3 パターンそれぞれの場合の左右チャネルに対する改善量の平均が最大となった条件を示す。これらの結果より、重み付けパラメータに大きなばらつきが見られるが、ステップゲイン  $\alpha = 0.05$  付近で最も高い改善量が得られた。また、2本のクロストーク成分の相互相関係数  $r_N$  が大きい値を示すほど改善量も高い値を示している。

表2 最大改善量と各パラメータ及び相互相関係数

	$\alpha$	$w_1$	$w_2$	$r_N$	改善量 [dB]
パターン 1	0.05	0.35	0.25	0.73	6.23
パターン 2	0.05	0.35	0.50	0.55	5.40
パターン 3	0.05	0.45	0.85	0.45	5.13

##### (2) シミュレーション 2

出力誤差  $e_{ij}$  を算出する際に聴覚特性の重み付けを行い、改善量の最も高い条件下での音響再現特性を比較する。ただし所望信号  $x_i(t)$  及び観測信号  $y_j(t)$  のそれぞれの周波数帯域において  $\phi(k)$

を重み付け、式(1)の SNR から改善量を算出する。

図 6 はパターン 1 において  $\alpha = 0.05$ 、 $w_1 = 0.35$ 、 $w_2 = 0.25$  を与え、改善量を比較したものである。この結果から聴覚特性の重み付けを行ったことで 0.63 秒程度の速度向上が確認された。

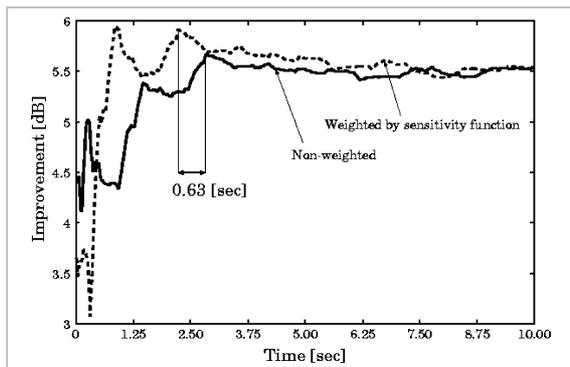


図6 音響再現特性の比較

## 5 むすび

本章では、データ駆動型プロセッサを用いたネットワーク・プロセッサについて示した。次に、RFID リーダ・ライタの伝送性能について示した。また、音響空間をユビキタス端末でも効果的に再現できる方式を提案した。

これらの研究成果は、サラウンディング・コンピューティング技術のための基礎となる要素技術である。今後はこれらの結果を基にして、ネットワーク上の情報や資源を有効に活用できるサラウンディング・コンピューティング環境を実現する。

### 参考文献

- 1 岩田, 寺田, “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”, 信学会集積回路研究会, ICD2004-197, pp.53-58, Dec.2004 [招待講演].
- 2 M.Iwata, D.Morikawa, R.Zhang, W.Su, Y.Zheng, L.Kong, and H.Terada, "Design Concept of An Embedded Data-Driven Firewall Processor", International Conference on Next Era Information Networking NEINE'04, pp.80-87, Sep.2004.
- 3 D.Morikawa, M.Iwata, and H.Terada, "Super-Pipelined Implementation of IP Packet Classification", Journal of Intelligent Automation and Soft Computing, Vol.10, No.2, pp.175-184, Aug.2004.
- 4 根日屋英之, 植竹古都美, “ユビキタス無線工学と微細 RFID”, 東京電機大学出版局, 2003.
- 5 John Litva, Titus Kwok-Yeung Lo, "Digital Beamforming in Wireless Communications", Artech House Publishers, 1996.
- 6 後藤尚久, “図解・アンテナ”, 電子情報通信学会, 1995.
- 7 P.A.Nelson, H.Hamada, and S.J.Elliott, "Inverse Filters for Multi-Channel Sound Reproduction", IECE Trans. Fundamentals, Vol.E75-A, No.11, pp.1468-1473, Nov.1992.
- 8 J.Nagumo and A.Noda, "A Learning Method for System Identification", IEEE Trans. AC, Vol.12, No.3, pp.282-287, 1967.
- 9 “JIS C 1502-1990, 普通騒音計”, 日本工業規格, 1997.
- 10 S.Hamasaki and M.Fukumoto, "Stereo type sound reproduction systems using multi-input correction", International Conference on Next Era Information Networking, NEINE-129, pp.468-475, Sep.2004.
- 11 浜崎真二, 福本昌弘, “多入力信号補正によるステレオ型音場再生システム”, 電子情報通信学会信号処理シンポジウム, A4-3, Nov.2004.
- 12 浜崎真二, 福本昌弘, “クロストーク成分における相関係数に着目した音場再生システム”, 電子情報通信学会技術報告, SIP2004-115, pp.31-36, Jan.2005.



ふくもとまさひろ  
**福本昌弘**

拠点研究推進部門高知 JGN II リサーチセンター専攻研究員 (高知工科大学)  
博士 (工学)  
信号処理

はまむらまさのり  
**濱村昌則**

拠点研究推進部門高知 JGN II リサーチセンター特別研究員 (高知工科大学)  
博士 (工学)  
無線通信システム

いわた まこと  
**岩田 誠**

拠点研究推進部門高知 JGN II リサーチセンター特別研究員 (高知工科大学)  
博士 (工学)  
並列処理システム

しまむらかずのり  
**島村和典**

拠点研究推進部門高知 JGN II リサーチセンター特別研究員 (高知工科大学)  
博士 (工学)  
フルメディア通信方式