

# Medida e Caracterização de Ambientes *Indoor* utilizando o algoritmo SAGE

Sérgio Augusto Costa Macedo, João P. Leite

**Resumo**—Algoritmos de alta resolução temporal como o SAGE (*Space Alternating Generalized Expectation Maximization*) podem ser utilizados para determinar a resposta temporal do canal de comunicação e, por consequência, determinar o perfil de atraso de potência de um ambiente. Este trabalho apresenta uma campanha de medidas por sondagem na frequência em que se utilizou o SAGE para o pós-processamento dessas medidas, extraindo os parâmetros de dispersão de diferentes ambientes *indoor*.

**Palavras-Chave**—Algoritmos de alta resolução, medidas de canal *indoor*, SAGE.

**Abstract**—High resolution algorithms such as SAGE (*Space Alternating Generalized Expectation Maximization*) may be used to obtain the time response from a communication channel and, consequently, to obtain the power delay profile from environment. This paper presents a measure campaign by frequency sounding which employs SAGE to process these measurements, extracting the dispersion parameters for different indoor environments.

**Keywords**— High resolution algorithms, indoor channel measurements, SAGE.

## I. INTRODUÇÃO

A caracterização de ambientes *indoor* permite a obtenção dos parâmetros de propagação do canal móvel. Tais parâmetros implicam em restrições à taxa de transmissão que pode ser alcançada por um sistema e devem ser levados em conta em um bom planejamento de cobertura.

O algoritmo SAGE (*Space Alternating Generalized Expectation Maximization*) é uma poderosa ferramenta, pois sua alta resolução temporal favorece a obtenção de valores mais acurados para os parâmetros de canal num ambiente no qual os atrasos e espaçamento entre percursos são da ordem de nano segundos. Por meio do algoritmo, é possível analisar uma medida feita no domínio da frequência e identificar separadamente a contribuição de cada percurso que a compõe. Dessa forma, é possível obter a resposta impulsional do canal, o perfil de atraso de potência e, por último, extrair seus parâmetros de dispersão [1].

Este trabalho pretende, por meio da técnica de sondagem em frequência, realizar medidas em banda larga em ambientes *indoor* e, então, processar essas medidas com o SAGE para obter perfis de atraso de potência e parâmetros de dispersão de cada ambiente.

Para tal finalidade, o artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II é apresentada a teoria do algoritmo SAGE. Na Seção III são detalhados a campanha de medida e os equipamentos utilizados. Na seção IV são exibidos e comentados os resultados obtidos para diferentes ambientes e finalmente, na Seção V, são apresentadas as conclusões.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Algoritmos de alta resolução têm sido usados para estimar parâmetros de canal para validar modelos espaço temporais [2]. Eles fornecem um alto desempenho nessa estimação mesmo para uma baixa razão sinal-ruído ou quando há poucas amostras disponíveis para serem analisadas.

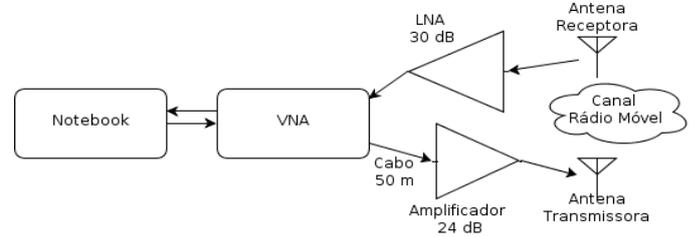


Fig. 1. Setup de medidas.

### A. Estimação de Máxima Verossimilhança

Supondo que a incerteza da medida seja somente devido ao ruído branco gaussiano, os sinal recebido,  $Y$ , pode ser escrito em função de um vetor de parâmetros  $\varphi = [\alpha_1, \tau_1, \dots, \alpha_N, \tau_N]$ , em que  $\alpha_i$  e  $\tau_i$  são, respectivamente o ganho de canal e atraso de um percurso,  $N$  é o número de percursos e  $n$  é o ruído branco gaussiano. Matematicamente, escreve-se:

$$Y(\varphi) = \sum_{i=1}^N X_i + \sqrt{\frac{N_0}{2}} n = \sum_{i=1}^N \alpha_i e^{-j2\pi k \Delta f \tau_i} + \sqrt{\frac{N_0}{2}} n \quad (1)$$

A função de verossimilhança de  $Y$  é definida como [1]:

$$V(Y|\varphi) = -\ln\left(\frac{\pi N_0}{2}\right) - \frac{2}{N_0} (Y - X(\varphi))^H (Y - X(\varphi)) \quad (2)$$

O vetor  $\varphi$  que maximiza a função de verossimilhança (2) é o vetor de parâmetros estimados do canal, cuja determinação direta é um processo computacionalmente custoso. Uma forma alternativa e de custo reduzido se dá pelo emprego do algoritmo SAGE [1].

### B. Algoritmo SAGE

No problema de superposição de sinais, o sinal recebido  $Y$  é formado por várias componentes  $X_i$  somadas ao ruído branco gaussiano [1,2]. Então é possível estimar os parâmetros de cada percurso separadamente, o que diminui consideravelmente a complexidade computacional do problema [1]. Porém as componentes  $X_i$  são os dados não observáveis, tendo-se acesso apenas a uma estimativa de  $X_i$ , cujo cálculo é realizado em uma etapa do algoritmo chamada de expectativa.

A próxima etapa é a etapa de maximização, que consiste em estimar um parâmetro por vez que maximize a função de verossimilhança em (1) e atualizá-los em sequência [1]. Os passos de esperança e de maximização são repetidos até que ocorra a convergência.  $\hat{X}_i$  é a estimativa de  $X_i$  obtida na etapa de esperança e  $\alpha'_i$  é uma constante arbitrada como valor inicial para  $\alpha_i$  [1]:

$$\tau''_i = \arg_{\tau_i} \max(V(\hat{X}_i(\tau_i, \alpha'_i)|\varphi_i)) \quad (3)$$

$$\alpha''_i = \arg_{\alpha_i} \max(V(\hat{X}_i(\tau''_i, \alpha_i)|\varphi_i)) \quad (4)$$

## III. CAMPANHA DE MEDIDAS

Um analisador de espectro vetorial (*Vector Network Analyzer* – VNA) foi utilizado para fazer a varredura na faixa de 2171 MHz a 2310 MHz, totalizando 139 MHz de largura de faixa, analisada em 801 pontos, resultando em uma resolução em frequência de 173,75 kHz, e a duração de cada varredura do VNA foi de 200 ms. O controle de início e fim de varredura, além da

TABELA I. PARÂMETROS DE DISPERSÃO DO CANAL PARA OS DIFERENTES AMBIENTES

	Atraso RMS		Atraso Médio		Banda de Coerência 1		Banda de Coerência 2	
	Média [ns]	Desvio Padrão [ns]	Média [ns]	Desvio Padrão [ns]	Média [kHz]	Desvio Padrão [kHz]	Média [kHz]	Desvio Padrão [kHz]
Laboratório de Micro-ondas	34,43	8,356	7,571	3,124	1216	86,88	552,6	151,6
Chão de Fábrica	42,10	8,111	27,92	10,03	1216	86,88	492,3	94,54
Salas de Aula	43,12	11,13	29,64	7,451	1334	452,9	491,9	117,5
Corredores	43,06	6,098	20,13	7,821	573,4	173,8	470,9	57,72

## IV. RESULTADOS OBTIDOS

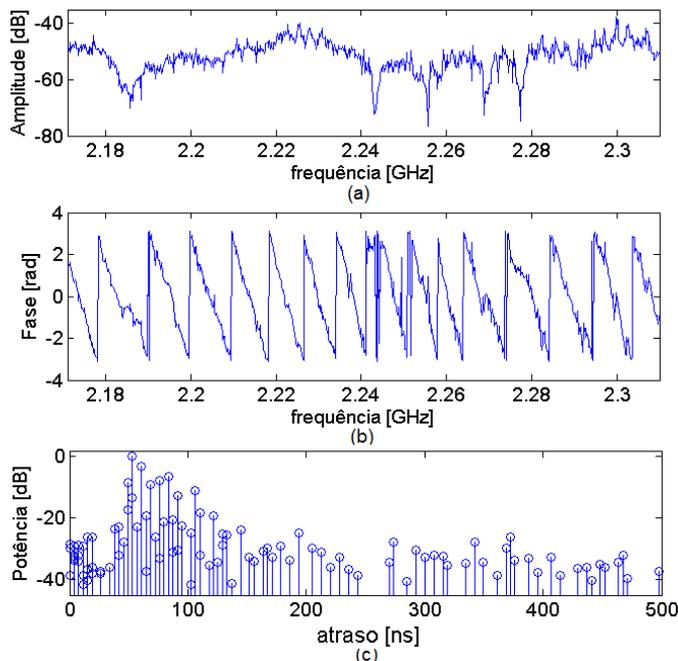


Fig. 2. Um exemplo de medida e pós-processamento: (a) Amplitude do sinal medida com o VNA. (b) Fase do sinal medida com o VNA. (c) Perfil de atraso de potência obtida após o processamento da medida com o SAGE.

leitura e armazenamento das medidas, foi feito por um computador conectado via interface GPIB ao VNA.

À porta de saída do analisador foi conectado um cabo RGC-213 de 50 metros, um amplificador de saída com 24 dB de ganho e a antena de transmissão. Na recepção, após a antena, há um LNA com ganho de 30 dB ligado a porta de entrada do VNA. Essas ligações estão esquematizadas na Fig. 1. Deve-se ainda salientar que o *setup* foi calibrado de forma retirar a influência dos cabos, amplificadores e conectores na resposta em frequência medida.

Foram tomadas medidas em quatro tipos de ambientes. O primeiro deles é o laboratório de micro-ondas, um ambiente com diversos aparelhos de bancada. Os corredores possuem cerca de 50 metros de comprimento e aproximadamente 3 metros de largura. As salas de aula são ambientes com cerca de 20 m<sup>2</sup>, com presença de vários espalhadores metálicos. Por fim, o chão de fábrica é um ambiente amplo, com área aproximada de 60 m<sup>2</sup>, com a presença de espalhadores metálicos de naturezas diversas e em grande número.

A metodologia de medida adotada para os ambientes, com exceção dos corredores, foi fixar o receptor e deslocar o transmissor em um *grid* quadrado [1]. Para cada ponto do *grid* foram tomadas 10 medidas. Nos corredores foi tomado apenas um ponto de medida, com o transmissor e receptor em extremidades opostas ao longo do corredor. O cálculo dos atrasos médio e RMS foi realizado utilizando as expressões clássicas encontradas em [3].

Um exemplo de medida na frequência é mostrado na Fig. 2(a) e Fig. 2(b), e o respectivo perfil de atraso de potência (obtido por meio da aplicação do algoritmo SAGE) é mostrado na Fig. 2(c).

A partir de perfis de atraso de potência, foram obtidos os parâmetros de dispersão do canal para os ambientes citados, sumarizados na Tabela 1. A banda de coerência 1 foi obtida por meio da análise da autocorrelação na frequência, e a banda de coerência 2 foi obtida a partir de uma fórmula clássica de estimativa, proporcional ao inverso do atraso RMS [3]. Ambos os valores foram obtidos para um valor de autocorrelação de 0,9.

Os valores de atraso RMS e atraso médio refletem a quantidade e disposição dos espalhadores presentes do ambiente. O chão de fábrica e as salas de aula tiveram valores maiores para os dois parâmetros por possuírem mais espalhadores do que o laboratório de micro-ondas. Os corredores possuem um valor elevado de atraso RMS pela grande distância entre transmissor e receptor quando comparado aos outros ambientes.

Observou-se tendência da banda de coerência 1 ser a mesma para cada sala devido ao limite da resolução em frequência, comentada na Seção III. Na Tabela 1, os desvios padrões dos ambientes com uma única sala foram exibidos como metade da resolução em frequência para enfatizar que os resultados encontrados só foram iguais em consequência da limitação da resolução em frequência.

Observa-se ainda que o valor da banda de coerência 1 é cerca de duas vezes maior que sua estimativa por meio da regra prática (dada pela banda de coerência 2), para o laboratório de micro-ondas, para o chão de fábrica e para as salas de aula; para os corredores ambos os valores ficaram bastante próximos um do outro. Cabe notar o fato da banda de coerência 2 ser uma regra prática baseada no recíproco do atraso RMS [3], e ainda assim, quando comparada à bandas de coerência 1 de todos os ambientes, estas apresentam ordem de grandeza semelhante.

## V. CONCLUSÕES

A técnica de varredura na frequência em conjunto com o processamento com o algoritmo SAGE foi apresentada. Com seu uso foram obtidos alguns parâmetros de dispersão clássicos para os ambientes analisados, a citar: atraso RMS, atraso médio e banda de coerência. Em trabalhos futuros, os perfis de atraso de potência obtidos poderiam ser utilizados para a identificação de *clusters*, ou ainda, para um ajuste de modelo de canal rádio móvel para os ambientes.

## REFERÊNCIAS

- [1] VIEIRA, R. D. *Medidas do Canal MIMO Indoor: Análise da Capacidade e dos Parâmetros do Canal*. Tese de Doutorado, PUC-Rio, Setembro 2005.
- [2] FLEURY, B. H. et al. *Channel Parameter Estimation in Mobile Radio Environments using the SAGE Algorithm*. IEEE Journal on Select. Areas Commun., Vol. 17, no. 3, Março 1999.
- [3] RAPPAPORT, T. S. *Wireless Communications: Principles and Practices*. 2 ed. Prentice Hall, New York, 2002.