

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática

Processamento Digital de Sinal

Trabalho Prático nº1: Sintetizador de Música

Neste trabalho pretende-se que os alunos construam um sintetizador de som em Matlab. Para que o som sintetizado se assemelhe ao som natural de um instrumento musical devem gerar-se sinais com uma estrutura harmónica, ou seja, sinais constituídos por várias sinusóides com frequências múltiplas de uma fundamental. Além disso, a envolvente temporal deverá evoluir de forma idêntica à observada num dado instrumento musical. Numa segunda fase os alunos deverão ainda desenvolver dois efeitos de áudio. O primeiro deverá ser uma câmara de eco e reverberação (obrigatório) e o segundo um dos seguintes efeitos áudio à escolha:

1. Flanging
2. Phasing

1 Entrega do Trabalho e avaliação

O trabalho a desenvolver tem as componentes seguintes

- O código Matlab com o sintetizador completo;
- Teste do sintetizador;
- Tratamento analítico de efeitos especiais implementados

Para demonstração do resultado final devem escolher uma música a sintetizar com o instrumento desenvolvido. O código Matlab a entregar deve tocar a música. Além disso, para cada função implementada deverá existir um script de teste que demonstre que a função funciona de acordo com o esperado. A submissão do código Matlab será realizada no Moodle devendo os alunos submeter um único zip com todos os ficheiros.

Utilizando técnicas de análise de sistemas lineares invariantes no tempo (transformada de z e, resposta em frequência) é possível perceber as manipulações efectuadas nos sinais (em especial os efeitos de áudio). Assim, a análise matemática dos efeitos implementados deverá ser preparada em casa. O relatório manuscrito será realizado na aula em folhas que o docente distribuirá.

2 Sintetizador

Na figura 1 podemos observar uma partitura constituída por duas pautas. Na pauta de cima pode-se observar uma sequência de notas musicais de C^4 a G^5 . A nota C^5 está uma

oitava acima da nota C^4 , ou seja a sua frequência é o dobro. Dado que existem 12 notas por oitava, a razão entre as notas é

$$r^{12} = 2 \quad \Rightarrow \quad r = 2^{1/12} \approx 1.0595 \quad (1)$$

tal como se pode observar na tabela 1. Esta razão designa-se por meio tom. Nesta tabela estão representadas as notas sustentadas e a relação entre a notação Anglo-Saxónica (A, B, etc) e a usada em Portugal (Dó, Ré, etc.).

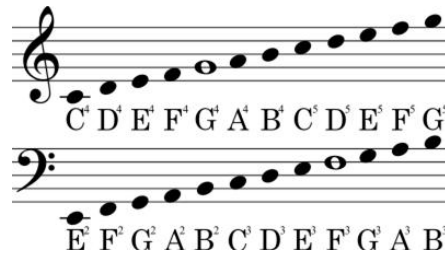


Figura 1: Pauta musical retirada da Wikipedia

Lá	A^3	220Hz
Lá#	$A^{3\#}$	233Hz
Si	B^3	247Hz
Dó	C^4	262Hz
Dó#	$C^{4\#}$	277Hz
Ré	D^4	294Hz
Ré#	$D^{4\#}$	311Hz
Mi	E^4	330Hz
Fá	F^4	349Hz
Fá#	$F^{4\#}$	370Hz
Sol	G^4	392Hz
Sol#	$G^{4\#}$	415Hz

Tabela 1: Tabela das notas musicais

Na figura 2 podemos observar a distribuição das notas musicais pelo teclado de um piano. A nota A_4 (Lá na notação mais usual em Portugal) tem uma frequência de 440Hz. Uma pauta musical é uma forma gráfica de representar a variação das componentes de frequência de um sinal ao longo do tempo. Trata-se de um conceito semelhante ao do espectrograma.

2.1 Síntese de Instrumentos

Neste trabalho pretende-se que cada aluno elabore um programa em Matlab que “toque” as notas de uma partitura musical à escolha. Partituras de músicas conhecidas e simples podem ser encontradas no seguinte link. Não é obrigatório que os tempos da melodia gerada sejam respeitados, apenas a sequência das notas e a sua frequência.

O som gerado pelos instrumentos musicais de sopro e de cordas baseia-se no mesmo princípio da geração de ondas acústicas estacionárias. O sinal gerado tem assim uma

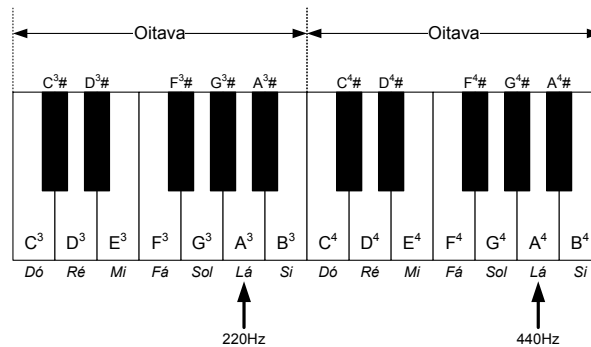


Figura 2: Oitava 3 e 4 de um teclado de piano com indicação da frequência de algumas das notas

estrutura harmónica que mais não é que a soma de sinusóides cuja frequência é múltipla da fundamental. Esta frequência fundamental é igualmente a frequência da nota. Note-se que segundo a teoria das séries de Fourier todo o sinal periódico pode ser representado por uma estrutura harmónica deste tipo que pode ser descrita matematicamente por

$$x(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi k f_0 t + \phi_k) \quad (2)$$

em que f_0 é o harmónico fundamental, a_k a amplitude de cada uma dos harmónicos, ϕ_k a sua fase e N o número de harmónicos. Esta equação gera sinais periódicos e por esse motivo constitui um modelo matemático para realizar a síntese de instrumentos musicais. Para gerar as diferentes notas basta mudar a frequência fundamental f_0 . O diferente timbre dos instrumentos resulta da amplitude relativa dos harmónicos e é completamente especificada pelos valores de a_k . Na figura 3 pode observar-se a estrutura harmónica de uma flauta e de um violino para a mesma nota musical. Na página WWW da disciplina poderá obter os ficheiros de áudio utilizados.

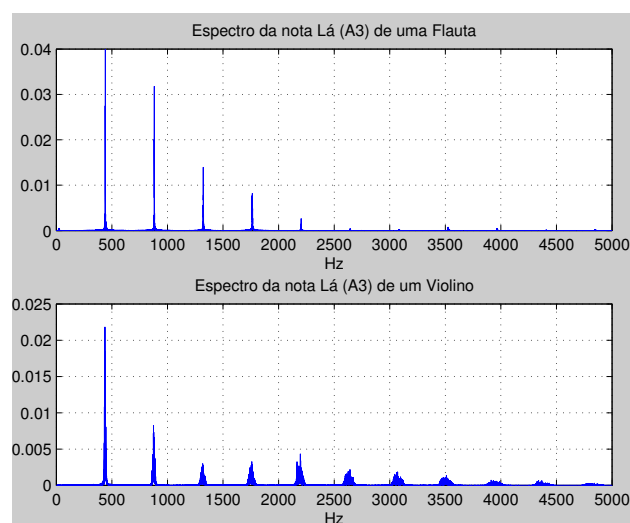


Figura 3: Espectros da mesma nota musical para uma flauta (em cima) e um violino (em baixo)

Na geração dos harmónicos terá de limitar o seu número de modo a respeitar o teorema

da amostragem. Os alunos devem ainda gerar uma envolvente para cada nota musical de modo a tornar o som mais agradável. A envolvente de cada nota musical pode ser definida por quatro tempos diferentes tal como se pode ver na figura 4.

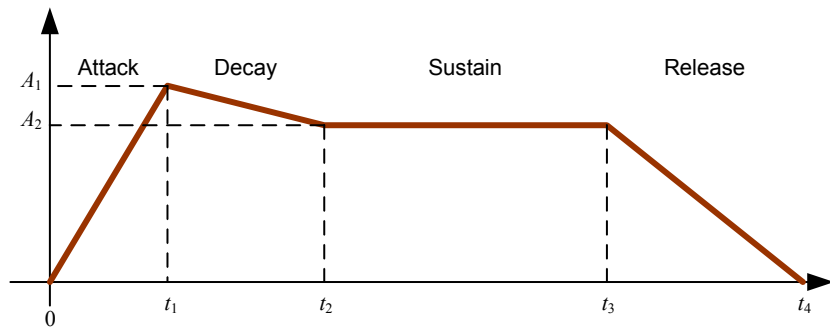


Figura 4: Envolvente de uma nota musical que torna o som mais realista

Para simplificar a geração da música os alunos podem desenvolver uma função no Matlab que gere uma nota de um instrumento. Os parâmetros de entrada podem ser apenas a frequência da nota e a sua duração.

3 Efeitos de Áudio

Nesta secção descrevemos de forma sumária os efeitos de áudio a aplicar à música sintetizada na secção anterior. Informação mais detalhada pode ser encontrada no livro [1] (disponível online em <http://www.ece.rutgers.edu/orfanidi/intro2sp/orfanidis-i2sp.pdf>).

3.1 Eco

O efeito de eco e reverberação permitem adicionar ao som sintetizado em realismo muito interessante. O efeito de eco pode ser facilmente conseguido adicionando ao sinal original versões atrasadas. Para que o sistema auditivo humano reconheça o eco, o atraso relativo deverá ser superior a 100ms. Para que este efeito pareça mais realista é necessário que se repita em intervalos regulares pelo que uma estrutura recursiva costuma ser utilizada para o conseguir. Na secção 8.2.1 do livro [1] podem encontrar uma descrição para a implementação de uma câmara de eco digital.

3.2 Flanging

O efeito de Flanging consegue-se adicionando ao sinal original uma única versão atrasada. No caso dos Flangers tradicionais, o valor do atraso é controlado em tempo real por um pedal. O valor do atraso deverá ser bastante pequeno, alguns milissegundos (0 – 10)ms, sendo um valor típico cerca de 3ms. Além disso, o valor do atraso deverá variar ao longo do tempo por exemplo uma variação sinusoidal com frequência muito lenta ($F=1\text{Hz}$, é um valor possível). Para obter mais informação sobre este efeito e a sua implementação poderá consultar a secção 8.2.2 do livro [1].

3.3 Phasing

O efeito de Phasing caracteriza-se por se adicionar ao sinal original uma versão filtrada passa-banda cuja frequência central varia ao longo do tempo. A dificuldade na implementação deste efeito reside na construção de um filtro digital IIR de 2ª ordem cuja frequência central muda ao longo do tempo. Mais uma vez, a frequência central do filtro é controlada nos sistemas profissionais por um pedal. Na implementação em Matlab poderá variar o valor da frequência central do filtro ao longo do tempo usando um sinal sinusoidal. Para mais informações sobre este efeito poderá consultar a secção 8.2.2 do livro [1].

Referências

- [1] S J Orfanidis, *Introduction to Signal Processing*, Number 1 in Prentice-Hall signal processing series. Prentice Hall, 2010.