

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

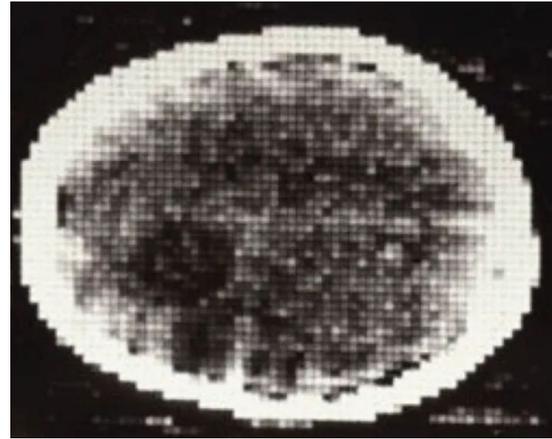
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0
30	0	0	0	11	11	0	0	0	0	0	5
60	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	5
90	0	0	0	0	0	10	0	10	0	10	0
120	0	0	0	0	0	0	0	11	9	0	0
150	0	0	0	0	11	0	11	0	0	7	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76506 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analógico) Raio-X.

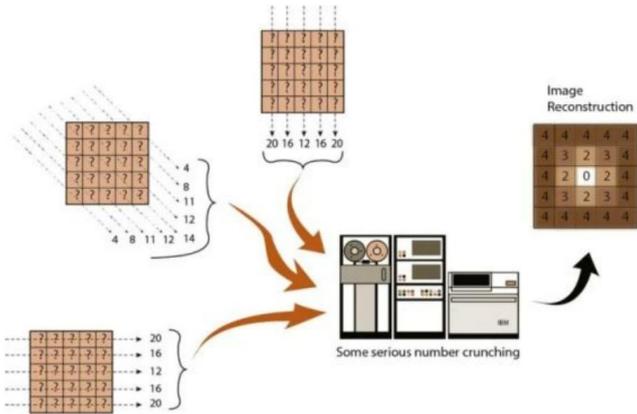
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

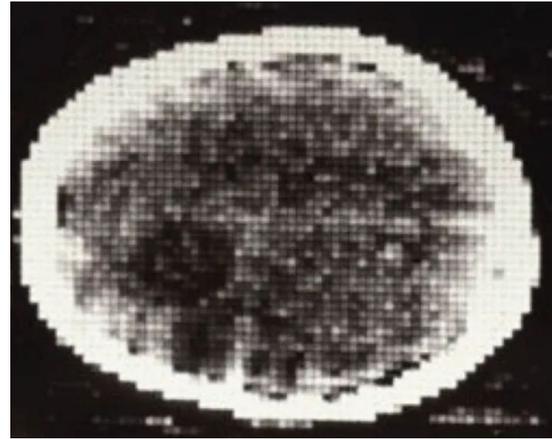


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	10	0	0	10	0	10	0	0	0
30	0	0	0	11	11	0	0	11	0	0	0
60	0	0	9	0	0	0	11	11	0	0	0
90	0	10	0	0	0	0	10	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
150	0	0	0	11	11	0	0	0	0	7	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76663 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analógico) Raio-X.

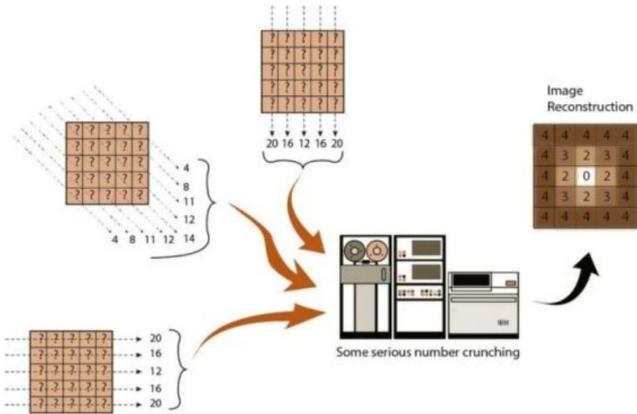
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

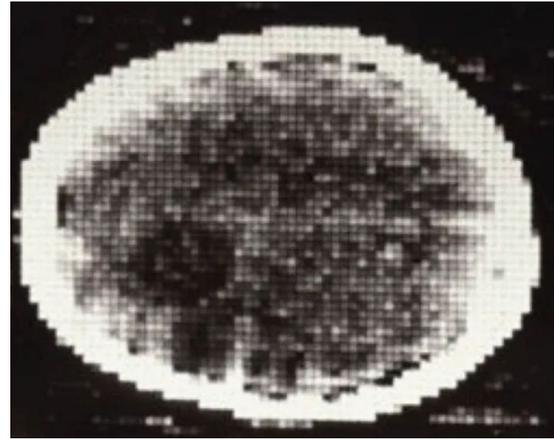


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

🔗 Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	10	0
30	0	7	9	0	0	0	0	0	0	7	0
60	0	7	9	0	0	0	0	0	0	7	0
90	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0
120	0	0	0	11	0	20	0	0	0	0	0
150	0	0	0	11	0	10	0	11	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76513 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

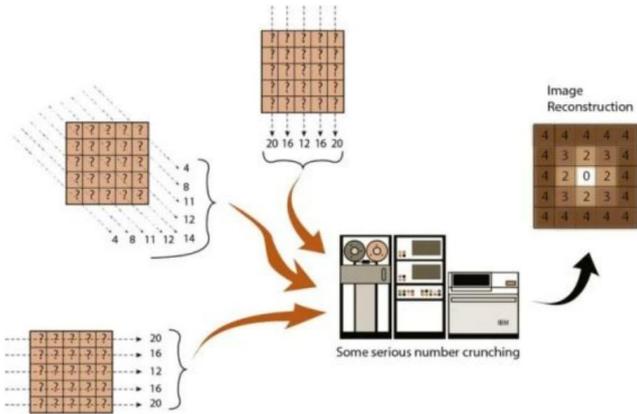
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

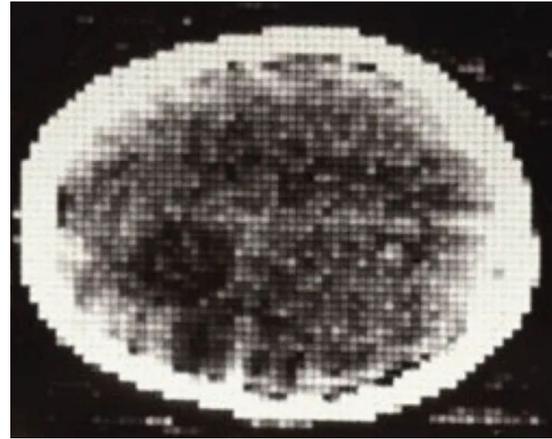


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0
30	0	0	0	22	0	0	0	0	0	7	0
60	0	0	9	0	0	10	0	0	9	0	0
90	0	10	0	0	0	0	10	10	0	0	0
120	0	0	9	0	11	0	0	0	0	7	0
150	0	0	9	11	0	0	0	0	0	7	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76520 - /

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analógico) Raio-X.

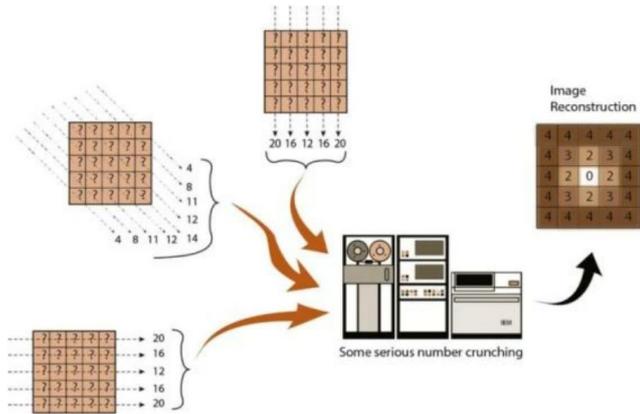
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:



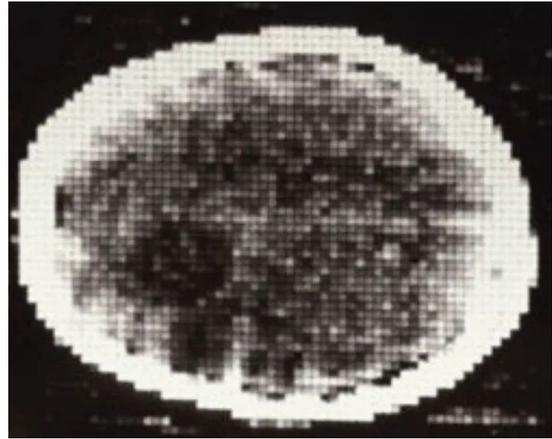
O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

🔗 Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	10	0	0	0	10	10	0	0
30	0	7	0	0	0	10	0	0	9	0	0
60	0	7	0	11	0	0	0	11	0	0	0
90	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	0
120	0	7	0	11	11	0	0	0	0	0	0
150	0	0	9	11	0	10	0	0	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76537 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analógico) Raio-X.

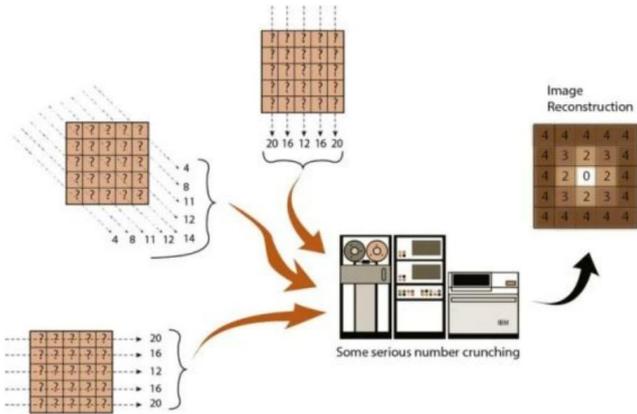
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

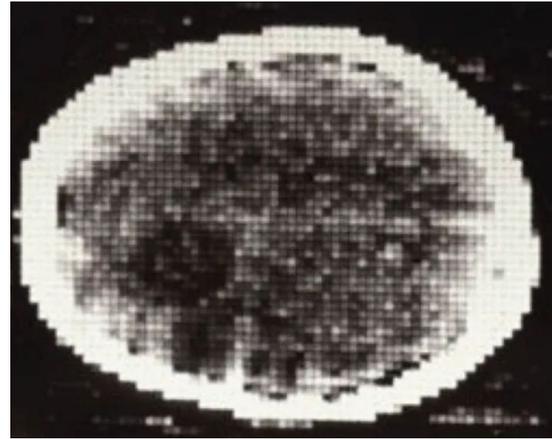


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	10	0	10	0	0	10	0	0	0	0
30	0	7	0	0	11	0	11	0	0	0	0
60	0	0	9	0	0	0	11	0	0	0	0
90	0	0	0	0	10	10	0	10	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	11	0	9	0	0
150	0	0	0	0	11	0	0	0	18	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76544 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

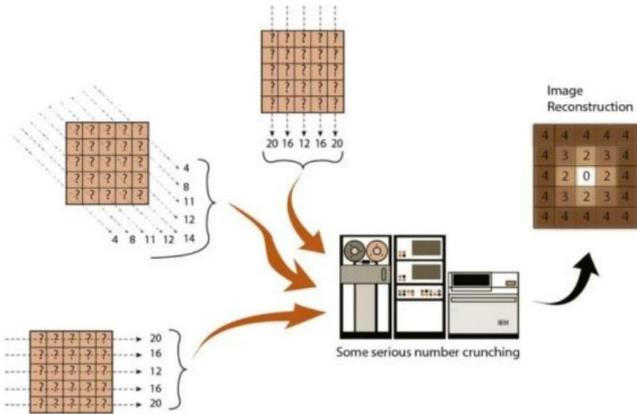
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

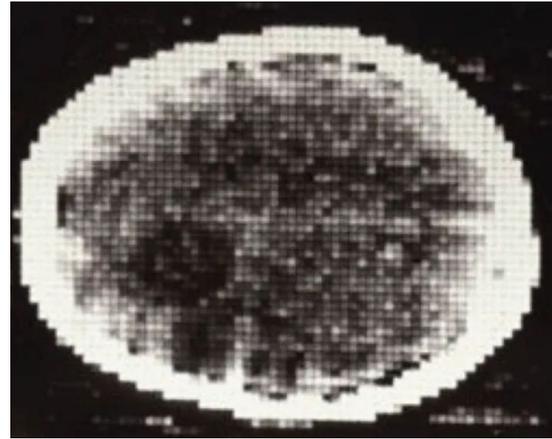


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	10	0	10	10	0	0	0	0	0	0
30	0	0	9	11	0	10	0	0	0	0	0
60	0	7	0	0	0	10	0	11	0	0	0
90	0	10	0	0	0	0	0	10	0	10	0
120	0	0	9	0	0	0	0	0	0	15	0
150	0	0	0	0	11	0	0	0	0	15	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76551 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analógico) Raio-X.

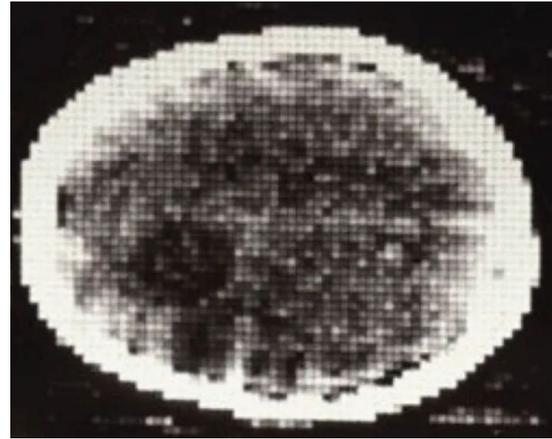
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	11	18	0	0
60	0	0	0	0	0	0	11	0	15	0	0
90	0	0	0	0	10	0	0	0	10	10	0
120	0	0	0	11	0	0	0	11	9	0	0
150	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76737 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

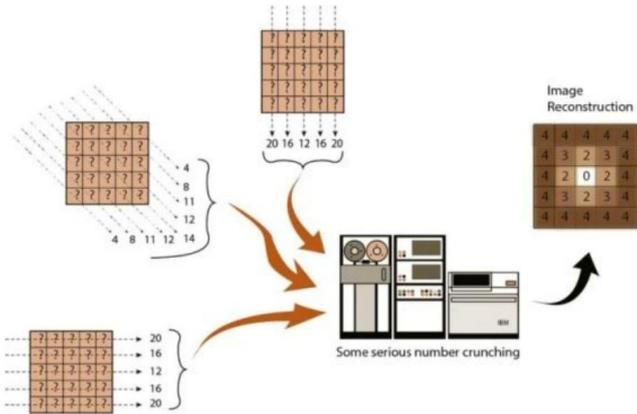
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

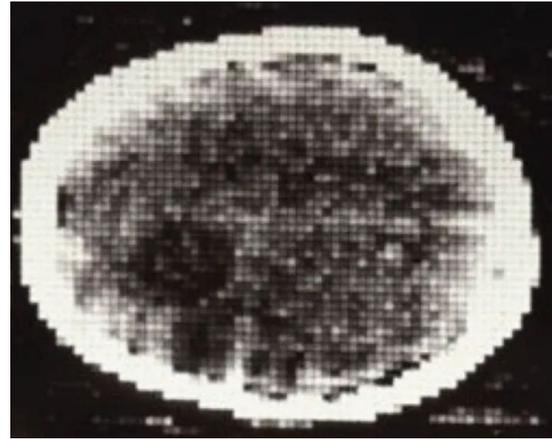


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	10	0	10	10	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	11	9	0	0
60	0	0	9	0	0	10	0	0	9	0	0
90	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0
120	0	0	18	0	0	0	11	0	0	0	0
150	0	7	0	0	11	0	0	0	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76568 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

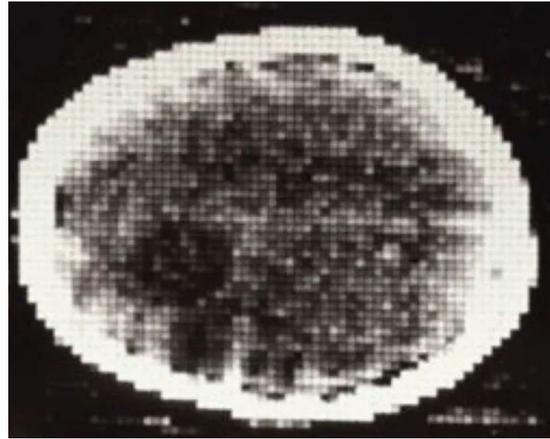
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

🔗 Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	7	0	22	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	10	0	10	10	0	0	0	0	0
120	0	0	0	11	0	0	11	11	0	0	0
150	0	0	0	0	0	10	0	11	9	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76706 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (análogo) Raio-X.

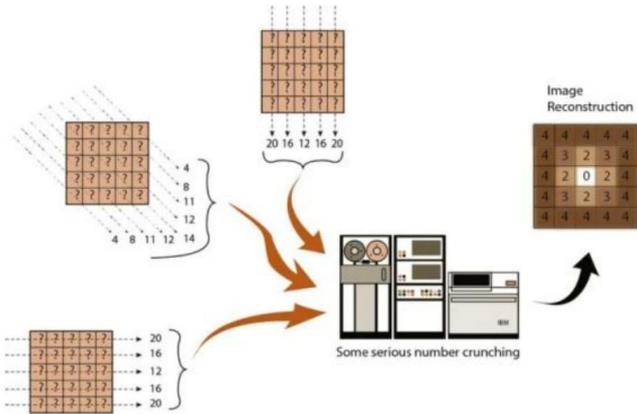
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

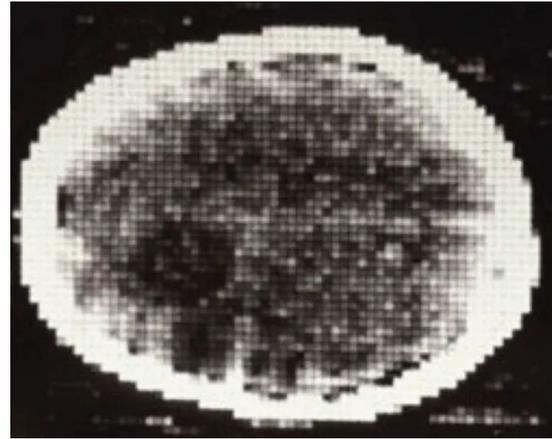


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	10	0	0	0	10	10	0	0	0
30	0	0	0	0	11	0	11	11	0	0	0
60	0	0	0	0	0	10	11	11	0	0	0
90	0	0	0	0	10	0	0	10	10	0	0
120	0	0	0	11	0	0	11	0	0	7	0
150	0	0	0	11	0	10	0	0	0	7	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76575 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

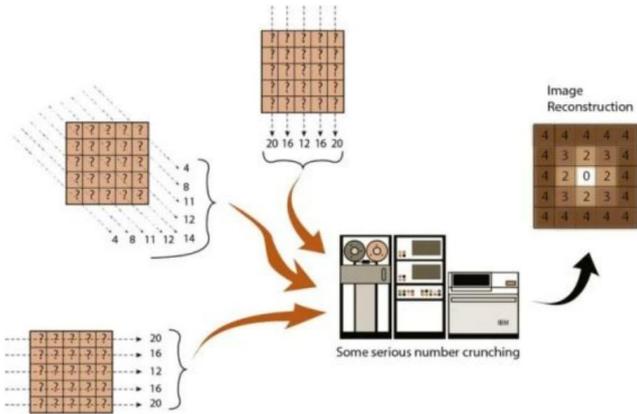
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capacete ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

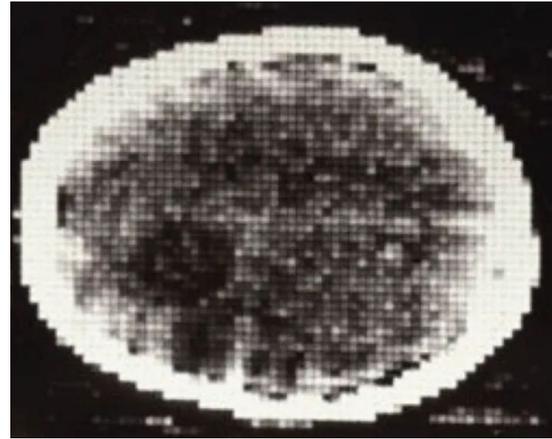


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

🔗 Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	10	0	0	0	0	10	0	10	0
30	5	0	0	0	0	10	0	0	9	0	0
60	5	0	0	11	0	0	0	11	0	0	0
90	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0
120	0	7	0	22	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	18	0	0	0	11	0	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====;



503-76694 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

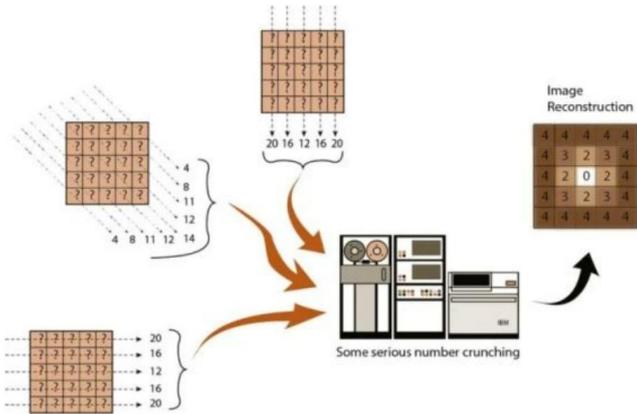
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

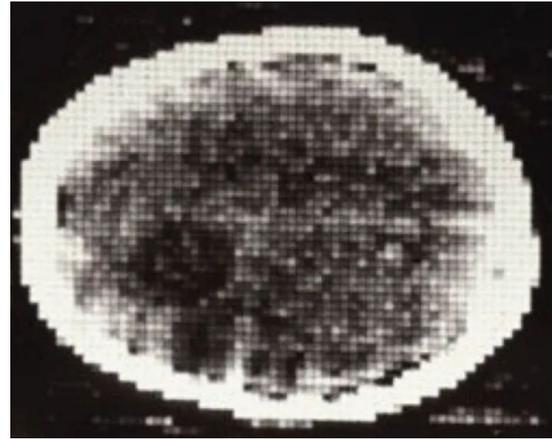


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	10	0	10	10	0	0
30	0	0	0	11	0	0	0	0	9	0	5
60	0	0	9	0	0	0	0	0	9	0	5
90	0	10	0	0	0	0	0	10	0	10	0
120	0	0	9	0	0	0	11	11	0	0	0
150	0	0	0	11	22	0	0	0	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76582 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analógico) Raio-X.

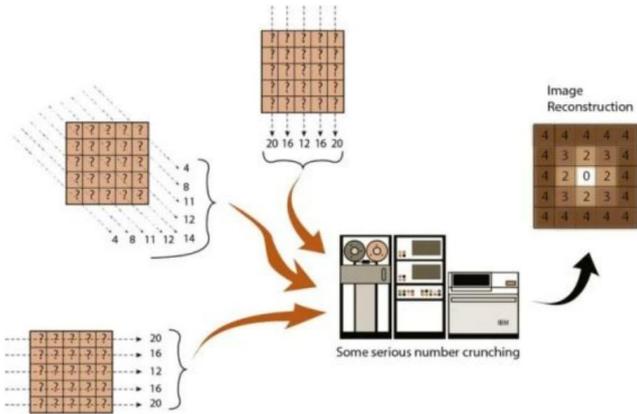
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capacet ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

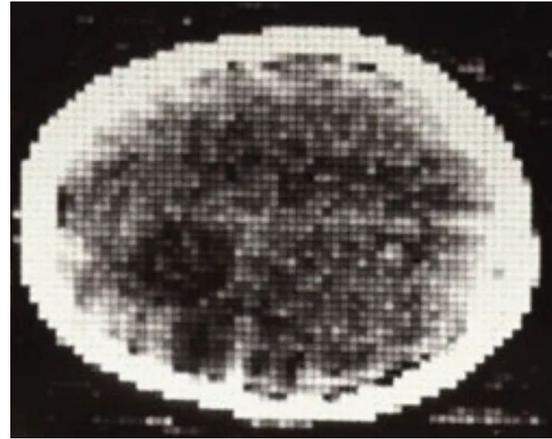


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	0	0	0	10	10	0
30	0	0	0	0	0	0	11	11	0	0	5
60	0	0	0	0	0	10	0	11	0	0	5
90	0	0	0	10	0	0	0	0	10	10	0
120	0	0	9	0	0	0	11	0	9	0	0
150	0	7	0	0	11	0	0	11	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76599 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analógico) Raio-X.

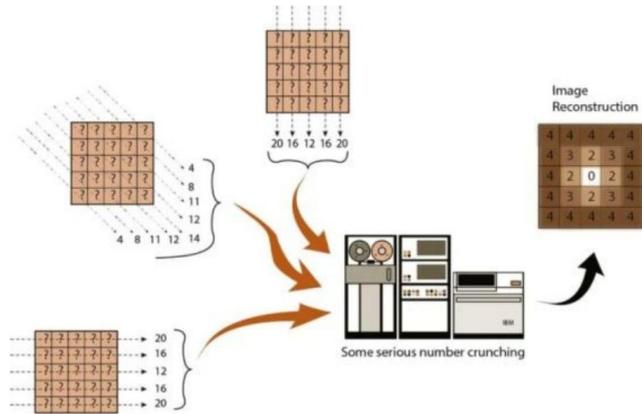
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

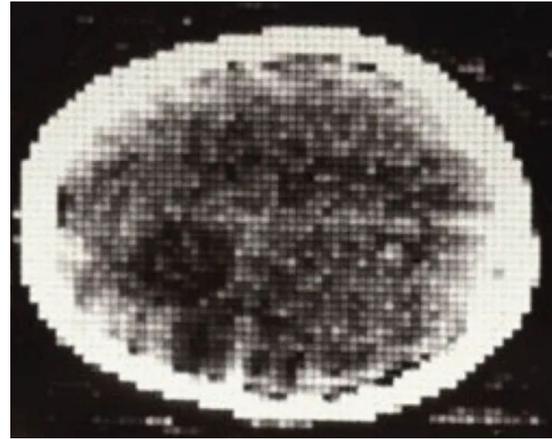


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

🔗 Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	10	0	0	0	0	0	10	10	0	0
30	0	0	0	11	0	10	0	11	0	0	0
60	0	0	0	11	0	10	11	0	0	0	0
90	0	0	10	0	10	0	0	10	0	0	0
120	0	7	0	11	0	0	0	0	0	7	0
150	0	0	18	0	0	0	0	0	0	7	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76601 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

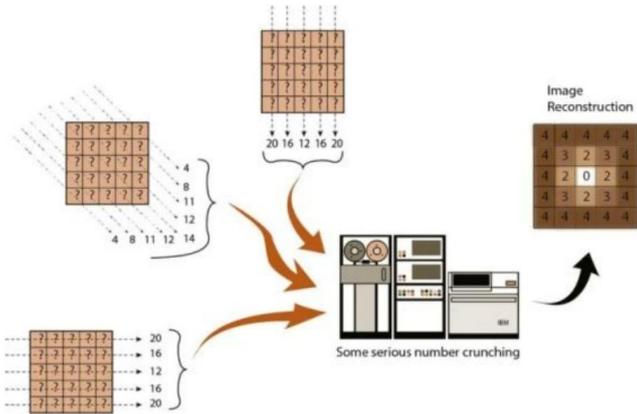
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

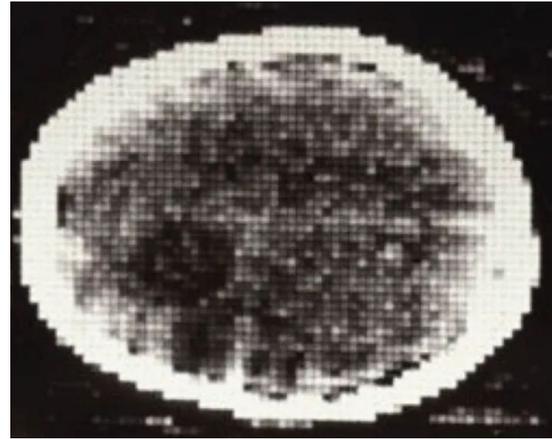


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	10	0	10	0	0	10	0	0
30	0	0	0	0	0	10	0	0	9	0	0
60	0	0	0	0	11	0	0	22	0	0	0
90	0	0	0	0	10	0	10	0	10	0	0
120	0	0	0	0	22	0	0	0	0	7	0
150	0	0	0	11	0	0	0	0	9	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====;



503-76618 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

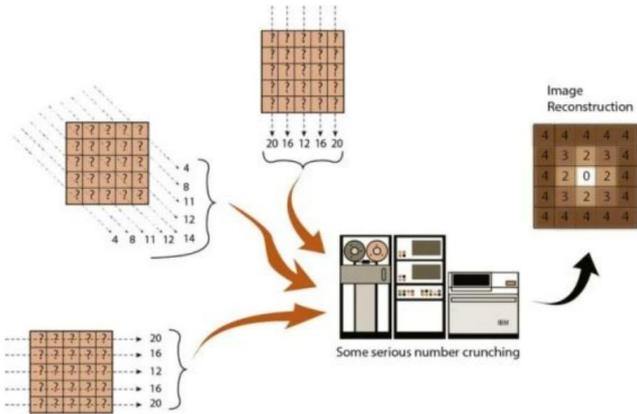
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

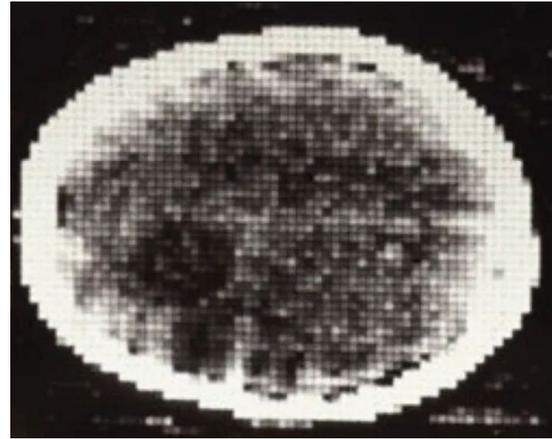


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360° gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	10	10	0	10	0	0
30	0	0	0	0	11	0	0	11	0	7	0
60	0	0	0	11	0	0	0	0	9	7	0
90	0	0	10	0	0	0	0	0	10	10	0
120	0	0	9	0	0	0	11	0	9	0	0
150	0	0	0	11	11	0	0	11	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76625 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (analogico) Raio-X.

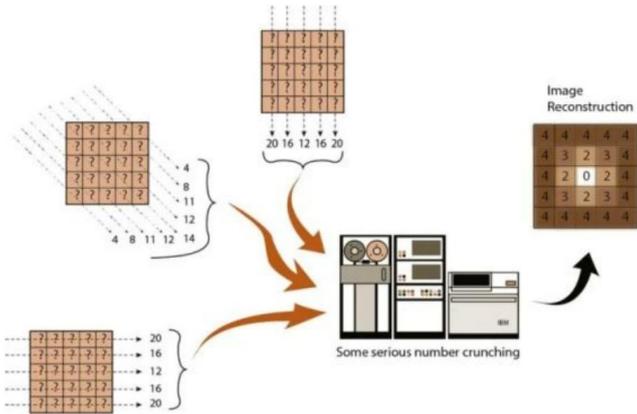
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

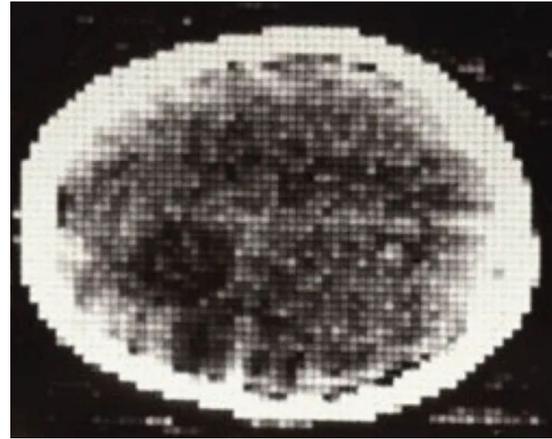


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

🔧 Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

o	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	10	0
30	0	7	9	0	0	0	0	0	0	7	0
60	0	7	9	0	0	0	0	0	9	0	0
90	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0
120	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0
150	0	0	9	0	0	0	22	0	0	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====;



503-76632 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (análogo) Raio-X.

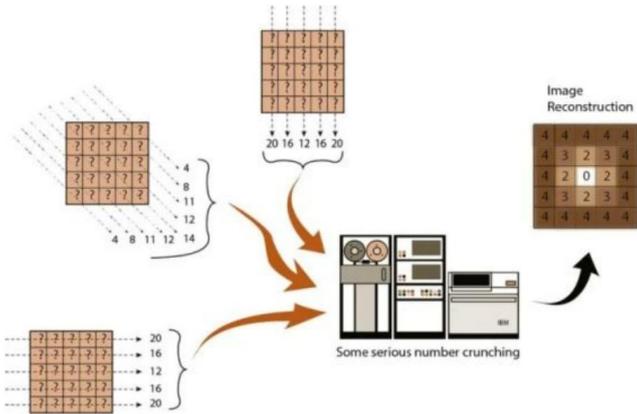
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

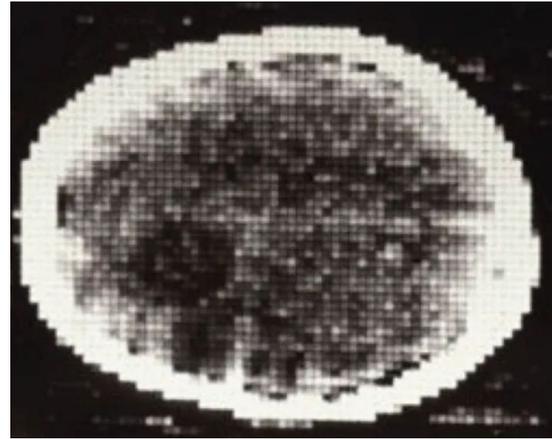


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	0
30	0	0	0	0	11	10	0	0	0	7	0
60	0	0	0	0	11	0	0	11	9	0	0
90	0	0	0	0	10	0	10	0	10	0	0
120	0	0	0	0	11	10	0	0	0	7	0
150	0	0	9	0	0	10	0	0	9	0	0

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====;



503-76649 - /

linear típico de ossos é de $0,38 \text{ cm}^{-1}$, e da água $0,19 \text{ cm}^{-1}$, o número CT dos ossos é de +1000. Pode ser ainda maior para ossos corticais. Estes valores também variam de aparelho para aparelho, já que os coeficientes dependem da distribuição de energia do feixe. A radiação observada, I , está relacionada com a radiação na fonte, I_0 , por: $I = I_0 e^{-\mu x}$.

Mais um exemplo de BLOB: TCA

A tomografia computadorizada axial (bem como todas as demais tomografias que vieram depois da TCA) é um exemplo acabado de objeto binário grande. Embora pareça um raio-X, é uma evolução digital imensa em relação ao (análogo) Raio-X.

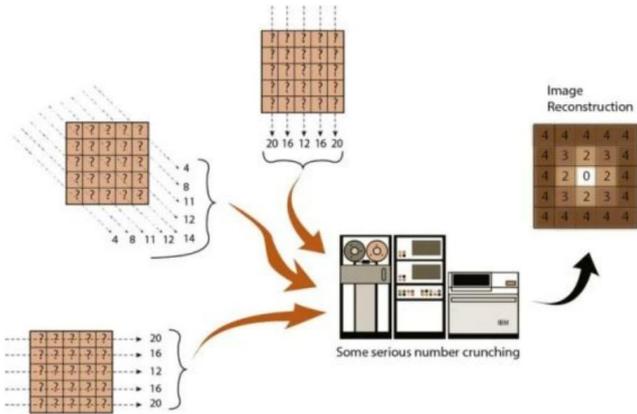
Raio-X Inventado meio por acaso no final do século XIX, rendeu a seu inventor, William Roentgen, um dos primeiros Nobéis em física. Ele fazia experiências com um tubo catódico e percebeu que algumas chapas fotográficas eram veladas mesmo estando bem protegidas da luz por papel negro. Sem pensar muito, ele reclamou ao fabricante das placas fotográficas: haviam sido enviadas placas já sensibilizadas, isto é fabricadas sem cuidados. O fabricante respondeu ofendido: nada disso, as placas saíram absolutamente íntegras da fábrica. Roentgen, com cuidado, foi estudar o que aparecia nas chapas e tomou um susto: numa delas aparecia o osso de uma mão. Como ele era o único que havia manuseado essas chapas, repentinamente ele se deu conta de que estava observando os ossos da própria mão.

Imediatamente, percebeu o alcance médico da descoberta, principalmente porque ele não sentira nenhum desconforto durante o episódio. Não nos esqueçamos que no século XIX, a anestesia era bem precária e qualquer visita ao médico podia ser bem dolorosa. Então Roentgen havia descoberto algo, mas exatamente o que ele havia descoberto? Uma radiação misteriosa, invisível, mas poderosa a ponto de ultrapassar materiais variados. Aqui, ele percebeu que o chumbo impedia a radiação. Sem saber mais sobre a radiação ele a batizou de **radiação X** usando o nome de uma variável desconhecida na matemática. Foi uma das primeiras piadas nerds da história. Durante todo o século XX, o raio-x foi uma ferramenta e tanto no diagnóstico médico. Na realidade, ainda hoje o é, basta ir na Clínica de Fraturas na rua XV em Curitiba. Anexa à sala de triagem, há várias salas com máquinas de raio-x prontas para serem usadas.

Embora prático, barato e útil, o raio-x apresenta problemas:

- como atravessa corpos espessos, há uma perda de nitidez nas imagens
- mostra ossos com clareza, mas não órgãos ou alterações em corpos moles
- na cabeça, o principal problema: como nosso cérebro está protegido por um capote ósseo, o raio-x só detecta sua eventual quebra ou fratura, sendo incapaz de informar problemas dentro do crânio.

Mudamos para a Inglaterra, anos 60. Uma empresa chamada EMI (Electric and Music Industries) cujo foco era em engenharia e eletrônica tinha dinheiro vazando pelo ladrão... (Uma observação: a divisão musical da EMI produzia os discos de uma banda inglesa de alguma fama: não sei se conhecem The Beatles). Trabalhava nela o engenheiro inglês Godfrey Hounsfield. Um dia conversando com um amigo médico, este se queixava da má qualidade dos raios-x do cérebro. Hounsfield, que já havia matutado antes sobre o problema, saiu-se com uma solução teórica: o cérebro seria fatiado como se fosse um pão de forma. Agora cada fatia seria irradiada por raio-x variando-se o ângulo de entrada, e medindo a atenuação do outro lado da cabeça do paciente. Colocando tudo em um computador, seria possível reconstituir o que havia lá dentro. Veja um esquema disso:

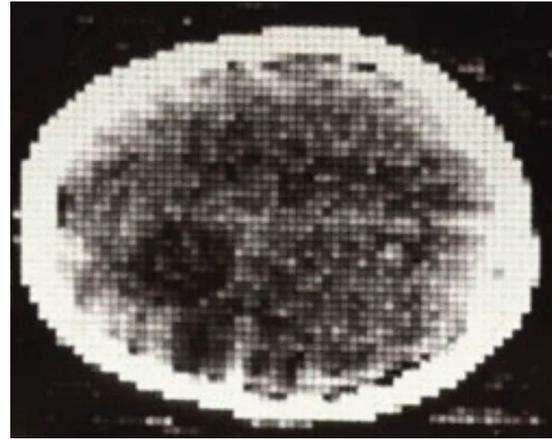


O Hounsfield não era muito habilidoso em comunicar (vender), mas ele tinha um chefe na EMI que era: em pouco tempo os dois venderam 4 máquinas (que ainda não existiam) para o NHS, a previdência social inglesa.

Em 1º de outubro de 1971, uma mulher de meia idade com sinais de um tumor cerebral fez a primeira tomografia da história. Não foi um processo rápido: 30 minutos para o escaneamento, uma viagem pela cidade com muitas fitas magnéticas, 2h30 de processamento no computador mainframe da EMI, e finalmente uma fotografia polaroid do resultado:

Embora a imagem seja meia tosca, pode-se ver claramente um corpo (o tumor) do tamanho de uma ameixa no lobo frontal esquerdo. A inovação de Hounsfield transformou a medicina. Em 2020, estima-se que 80 milhões de TCAs foram feitas nos EUA (muitas provavelmente desnecessárias). Acho que ele foi o primeiro não médico a ganhar um prêmio Nobel de medicina em 1979. Virou cavaleiro do reino inglês em 1981 e morreu em 2004, aos 84 anos. A unidade de medida de densidade em uma tomografia é o hounsfield.

O número CT, ou coeficiente de Hounsfield, é definido como -1000 para o ar e 0 para a água. Para os tecidos em geral, ele depende da energia do feixe empregado. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação



Tecido	CT	Tecido	CT
Ar	-1000	Sangue	35 a 55
Pulmão	-900 a -400	Sangue Coagulado	80
Gordura	-110 a -65	Músculo	40 a 60
gua	0	Fígado	50 a 85
Rim	30	Ossos	130 a 250

Por convenção, altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto. Como o olho humano não pode distinguir os milhares de coeficientes, utilizamos a técnica de janelas (windowing), para graficar somente os valores em uma certa faixa.

Aquisição de dados Na tomografia computadorizada mais comum, um tubo com um feixe de cerca de 0,6 mm de diâmetro gira em torno do paciente, e emerge do paciente sobre um detector com aproximadamente 700 sensores, que convertem a intensidade em uma corrente. Cada pulso de raio-X dura 2 a 3 ms, completando uma volta em cerca de 1 s. Cada 360º gera 300 somas.

Cada vez que o tubo emite um pulso, cada detector mede o logaritmo da intensidade que recebe. Este valor representa a soma de todos os números CT dos voxels atravessados pelo raio, completando uma projeção. Cada voxel é atravessado pelo feixe em diferentes direções, durante a rotação do anel. O número CT de cada voxel está portanto representado em várias somas. No final do processo há um sistema linear com milhares de incógnitas e mais milhares de equações: nada que assuste um computador.

Exercício Suponha uma caixa fechada e lacrada. Você sabe que existem lá dentro três bananas de dinamite. Qualquer tentativa de abrir a caixa implicará na explosão. Você submete a caixa a uma tomografia axial. O objetivo é saber onde estão as 3 bananas de dinamite.

Considere a caixa mapeada em uma matriz de 11 x 11. As bananas estão verticais na caixa. O material de que é feita a caixa é transparente aos Raios-X. Já a dinamite (trinitrotolueno) é um material que absorve completamente os RX.

A tomografia será composta de 6 tomogramas, obtidos com inclinações de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 graus. A quantidade de emissores/receptores de RX é 11.

Os mapas de atravessamento de cada emissor/receptor em cada uma das inclinações são:

0 grau	30 graus	60 graus
B B B B B B B B B B B	8 8 9 9 A A B B 0 0	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0
A A A A A A A A A A A	7 7 8 8 9 9 A A B B 0	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0
9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	6 7 7 8 8 9 9 A A B B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0
8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A	3 4 4 5 6 7 8 9 A A B
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0	2 3 3 4 5 6 7 8 9 9 A
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5	0 1 1 2 3 4 5 6 7 7 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8

90 graus	120 graus	150 graus
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 0 1 2 3 0 4 5 6 7 8	0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 1 2 3 4 0 5 6 7 8	0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 1 2 3 4 0 5 6 7 8 9	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 2 3 4 5 6 7 8 8 9	2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	1 2 3 4 5 0 6 7 8 9 A	3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 3 4 5 6 7 8 9 A B	0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	2 3 4 5 6 0 7 8 9 A B	4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 4 5 6 7 8 9 A B	5 6 6 7 7 8 8 9 9 A A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	3 4 5 6 7 0 8 9 A B 0	6 7 7 8 8 9 9 A A B B
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 5 6 7 8 9 A B B 0	7 7 8 8 9 9 A A B B 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B	4 5 6 7 8 0 9 A B 0 0	8 8 9 9 A A B B 0 0 0

Para reconstituir a caixa contendo as 3 dinamites, você deve:

- * Criar uma matriz 11 x 11 contendo inicialmente zeros.
- * Para cada tomograma, e para cada um dos emissores/sensores, você deve localizar qual o ângulo usado e quanto de absorção foi registrado.
- * Multiplique este valor pela quantidade de pixels percorridos e divida por 11 (normalização devido à geometria da malha)
- * Some este valor calculado a todos os pixels que fazem parte deste caminho (verifique isto nos mapas de atravessamento).
- * Ao final do processo, divida a matriz pelo número de tomogramas (6). Os 3 maiores valores encontrados correspondem as bananas de dinamite. Considere o seguinte caso exemplo,

Exemplo Os valores dos 6 tomogramas, são:

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0
30	0	0	9	0	0	10	0	0	0	7	0
60	0	7	0	0	0	10	0	0	0	7	0
90	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0
120	0	0	9	0	0	10	11	0	0	0	0
150	0	0	0	0	22	10	0	0	0	0	0

e a imagem resultante é:

col=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
.0	1.7	1.7	.0	2.3	2.5	.0	.9	3.3	2.0	.0
.0	1.7	.0	1.7	1.4	1.7	.9	3.4	3.7	6.0	4.0
3.3	3.3	1.7	4.7	1.7	3.3	1.7	4.2	11.0	5.6	3.3
.0	3.3	1.7	1.4	1.7	1.7	5.6	6.0	4.2	3.4	.9
.9	1.7	1.4	1.7	7.3	5.6	3.3	3.7	1.7	.9	.0
2.5	4.7	3.0	5.6	1.7	10.0	3.7	1.7	3.3	1.7	2.5
3.0	10.9	5.6	3.3	5.0	3.3	7.0	3.3	3.3	1.7	2.5
5.3	4.2	3.9	1.4	1.7	3.7	1.7	.0	3.3	1.7	.0
3.0	1.7	.9	1.7	3.4	3.0	.0	1.7	1.7	.0	1.7
.0	1.7	.0	2.5	2.0	3.0	1.4	1.7	1.7	.0	.0
.0	1.7	1.7	2.9	.0	1.7	.0	1.4	4.7	.0	.0

Como se pode ver no exemplo acima, as bananas de dinamite estão colocadas nas posições onde houve maior absorção dentro da caixa. Tais posições são: linha 3, coluna 9, com valor de absorção=11.0; linha=7, coluna 2, valor=10.9 e linha 6, coluna 6 valor 10.0

Para você fazer

Sejam os seguintes 6 tomogramas. Onde estão as bananas ?

θ	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	10	0	10	0	0	10	0	0	0	0
30	0	0	0	22	0	10	0	0	0	0	0
60	0	0	0	11	11	0	11	0	0	0	0
90	0	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0
120	0	0	0	11	0	10	0	0	0	0	5
150	0	0	0	11	0	0	11	0	0	0	5

Bibliografia: The Turing Omnibus, A.K.Dewdney. Obs: Não confundir número da linha com número do jato. São coisas distintas.

As 3 bananas de dinamite estão nas posições:

=====;=====; =====;=====; =====;=====;



503-76656 - /