

Construção Automática de Riscadas -- Uma Aproximação Heurística *

Francisco José M. Simões

Empresa de Investigação e Desenvolvimento de Electrónica, S.A.R.L. (EID)

Departamento de Opto-Electrónica

Quinta dos Medronheiros - Lazarim

2825 Monte da Caparica - Portugal

José Manuel Rebordão

Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

Azinhaga dos Lameiros à Estrada do Paço do Lumiar

1699 Lisboa Codex - Portugal

Sumário

Um problema interessante comum a uma série de processos industriais é o da aproximação de um determinado número de peças bi-dimensionais, regulares ou irregulares, numa matriz com dimensões determinadas, de onde vão ser cortadas, sendo o objectivo minimizar a área da matriz por aproveitar, i.e. minimizar o desperdício. O processo denomina-se riscada e está presente em aplicações industriais tais como a construção naval (corte de chapas metálicas), corte de couro e na manufactura de vestuário, entre outras. É aqui apresentada uma abordagem heurística ao problema, subdividindo-o em componentes. Cada componente poderá, então, ser abordada individualmente, sendo o problema principal reduzido a problemas substancialmente mais simples. São, também, apresentadas soluções possíveis para cada um dos módulos para uma área concreta a do corte de tecido para manufactura de vestuário. No presente artigo mostrar-se-á mediante resultados experimentais que a técnica apresentada não só permite uma formulação mais simples da solução, mas representa também uma técnica efectiva para a obtenção de soluções competitivas com as produzidas à mão.

1. Introdução

A construção de riscadas aparece sob um número considerável de contextos diferentes, havendo, para cada um, requisitos específicos a que é necessário obedecer. Por isso, várias abordagens foram feitas por diferentes autores consoante o problema específico com que se deparavam. O problema que serviu de motivação ao desenvolvimento do presente trabalho foi o de construir riscadas (automaticamente, por computador) para a indústria de confecção de vestuário.

* Trabalho realizado no âmbito do contrato de desenvolvimento LNETI-EID-EFACEC-UBI: Projecto ROBLAS.

Dois dos problemas mais comuns encontrados na literatura são a riscada em blocos e a riscada por máscara (tradução livre dos termos anglo-saxónicos "cutting-stock" e "template layout", respectivamente). No primeiro caso o objectivo é cortar um número fixo de formas a partir de peças rectangulares, de dimensões finitas dadas à priori, de maneira a usar o menor número possível destas placas. No segundo caso interessa cortar o maior número possível de peças numa só placa. Os problemas são semelhantes mas requerem abordagens completamente diferentes. O problema da riscada em blocos é tratado em [1]. Trata-se de um algoritmo orientado para o corte de chapas metálicas para a indústria naval. Esta versão é dividida em duas fases: a compactação de peças em rectângulos de área mínima e a colocação de rectângulos. Este processo é comum à abordagem de vários tipos de problemas, uma vez que a colocação de rectângulos é um assunto já resolvido (ver, por exemplo, [2]-[4], e [5] sobre o cálculo do rectângulo de área mínima que contém um dado polígono). O mesmo tipo de abordagem é usado em [6] para a solução da riscada por máscara. As peças são empacotadas em rectângulos de área mínima, denominados módulos, e a construção da riscada é feita por um algoritmo dinâmico em que sucessivas iterações são feitas para determinar que módulos (se contendo mais ou menos peças irregulares) dão a melhor solução. Em [7] é ainda discutido o problema da riscada por máscara em que as peças são todas iguais e os módulos se podem sobrepor para determinação do aproveitamento óptimo.

Existem outros tipos de problemas para os quais algumas abordagens já foram feitas. Em [8] procura-se empacotar peças irregulares, iguais umas às outras, numa matriz rectangular com largura fixa e comprimento infinito. Uma vez mais as peças são empacotadas em módulos, mas uma aproximação diferente é usada junto aos limites da matriz, onde os módulos podem não caber. Em [9] uma outra aproximação é feita para o mesmo problema, mas onde a matriz de colocação tem dimensões fixas e finitas. Exige-se que as peças a colocar sejam convexas (qualquer figura côncava pode ser transformada numa figura convexa com adição mínima de área; ver, por exemplo, os capítulos 3 e 4 de [10]). É calculado o polígono que pavimenta o plano que contém a peça e que tem área mínima ([11]), que é depois colocado sobre a matriz de colocação. Esta solução tem aplicação prática em sistemas de produção em massa onde a área da matriz da riscada é relativamente grande quando comparada com a área da peça a colocar.

A maior parte dos algoritmos existentes não faz restrição alguma à colocação das peças além do facto de que estas não se podem sobrepor. Existe, todavia, um conjunto muito importante de problemas práticos em que constrangimentos especiais são impostos à colocação das peças, fazendo com que este tipo de algoritmos seja apenas marginalmente aceitável. É o que se passa no caso do corte de peças metálicas a partir de chapas, em que é necessário ter em consideração factores como a orientação do grão para operações de moldagem subsequentes, o balanço da pressão exercida pelas peças, largura correcta das pontes e outros factores relevantes. Em [12] e [13] estes problemas são abordados e são dados algoritmos para este caso particular. Na indústria de confecção têxtil é necessário ter em conta constrangimentos como o correr do

fio e o tipo de peças a cortar. Estes constrangimentos influenciam as orientações possíveis de cada peça relativamente a uma direcção privilegiada, que habitualmente é tomada como sendo o correr do fio. A existência de todas estas restrições limita a aplicabilidade prática dos algoritmos existentes. Foi este facto que motivou o desenvolvimento do trabalho que aqui se apresenta.

2. Descrição do Método

Considerações

Uma das principais fontes de dificuldade na construção automática de riscadas manifesta-se quando se pretendem colocar várias peças numa dada extensão plana. Se são permitidas rotações existe uma infinidade de colocações possíveis, o que torna uma busca exaustiva impossível. As grandes quantidades de formas com diferentes tamanhos e feitios são uma segunda fonte de dificuldades. Estas dificuldades são particularmente importantes quando se pretende pôr o computador a resolver o problema. As limitações físicas e/ou económicas em capacidade de memória e tempo de cálculo tornam necessário encontrar maneiras de as ultrapassar.

O princípio fundamental de que se faz uso nestes casos é o de que não é necessário que o aproveitamento óptimo seja encontrado: uma riscada com um bom rendimento obtida rapidamente pode valer mais do que a riscada verdadeiramente óptima que requira muito mais tempo de computação. Um método heurístico que tenha em conta as limitações da técnica actual pode ser desenvolvido com vantagem sobre outro que funcione à base de buscas exaustivas.

Método

O método de resolução fundamenta-se na seguinte estratégia básica: as peças grandes são colocadas em primeiro lugar, sendo depois colocadas as peças pequenas nos interstícios deixados vagos. Este princípio parece ser verificado regularmente quando operadores humanos fazem uma riscada passo a passo. O agrupamento de várias peças pequenas numa única, de maiores dimensões, e a manipulação desta na construção da riscada é um caso particular que pode ser facilmente integrado no princípio.

A sua aplicação prática é feita subdividindo o problema em três blocos, cada um deles autónomo e independente dos restantes:

Bloco A - colocação das formas maiores;

Bloco B - detecção dos interstícios para futuro aproveitamento;

Bloco C - preenchimento destes interstícios pelas formas menores.

O Bloco A constitui a parte mais crítica na implementação do método. É altamente dependente da forma das peças a colocar e a sua funcionalidade influi directamente no rendimento da riscada final. Por outro lado, os Blocos

B e C são genéricos e uma vez implementados servem para todo e qualquer tipo de peças a colocar.

Em termos práticos, um factor importante é a separação entre formas grandes e pequenas. Os interstícios são definidos de maneira irreversível quando se colocam as peças grandes, pelo que esta separação tem que ser especialmente cuidada para se conseguir o melhor balanço possível peça-interstício. Cada peça que não for colocada nos interstícios vai ser empilhada fora da zona definida pelas peças grandes, prejudicando o rendimento da riscada. Por outro lado a criação de interstícios demasiado grandes também é negativa.

3. Aplicação Prática

Foi feita uma implementação prática do método para a indústria de confecção de vestuário. Além da riscada optima, os critérios têm de obedecer a constrangimentos impostos à disposição das peças relativamente ao correr do fio da peça de tecido de onde vão ser cortadas. Assume-se que a peça de tecido é rectangular de largura dada, fixa, e comprimento infinito. Interessa minimizar a área, ou, melhor ainda, o comprimento do pano usado.

Bloco A

Uma proposta de implementação interessante para o Bloco A é dada em [15]. O problema é transformado num processo de busca no espaço de soluções candidatas. Uma vez que este espaço é em geral muito grande, métodos heurísticos, típicos em inteligência artificial, são usados para reduzir a busca. O método permite a existência de rotações arbitrarias, impedindo, portanto, a sua aplicação no problema aqui em causa. No entanto trata-se de um tipo de abordagem interessante e potencialmente útil para o método descrito no presente artigo.

Interessa, neste bloco, fazer uma colocação que (1) maximize o número de peças colocadas em largura e (2) minimize o comprimento do tecido utilizado. Para atingir estes objectivos foi utilizado um método heurístico que tem em conta a forma das peças a colocar.

Para se conseguir o objectivo (1) construiu-se um critério simples que tem em conta as formas, e posições relativas, que encaixam bem (ver [14]), sendo a implementação feita em termos de atributos associados a cada forma. Operações sobre esses atributos determinam rapidamente se uma dada forma encaixa, ou não, bem com outra e qual a posição. O resultado é o da colocação das formas em pilhas que contêm o número máximo de peças para a largura do pano. A gestão da colocação destas pilhas permite a realização do objectivo (2). As formas são empilhadas da de maior para a de menor comprimento, resultando a pilha num trapézio com base maior do que o topo (tipo pirâmide truncada). A colocação

foi feita invertendo alternadamente as pilhas (figura 1). A figura 2 mostra o resultado para uma riscada de calças, onde este tipo de raciocínio é de fácil implementação.

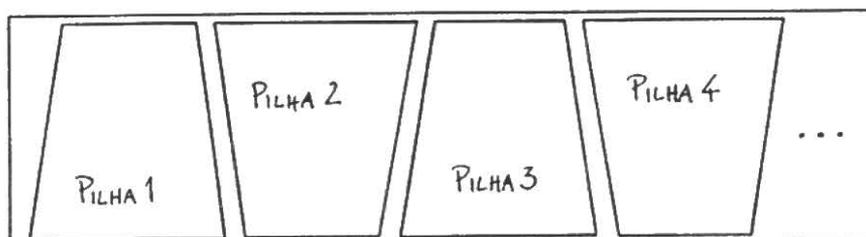


Fig. 1

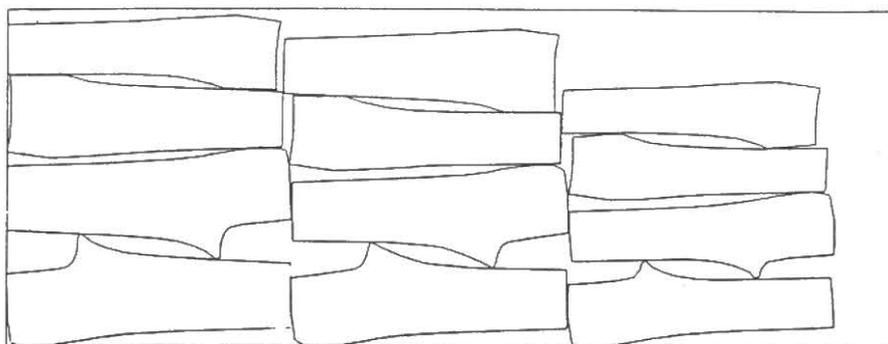


Fig. 2

Bloco B

A colocação das formas maiores é feita encostando-as umas às outras. No processo de encosto as peças tocam-se, e cada toque é definido por pontos de encosto nas peças que se tocam. Estes pontos são pontos especiais que constituem elos entre peças contíguas. Um dado interstício é formado por cadeias entre as figuras que se tocam, estando cada cadeia (uma cadeia é uma parte da fronteira de um peça) limitada por dois pontos de toque. É claro que o toque pode ser com outra peça ou com a fronteira da matriz de colocação (caso em que a cadeia é constituída pela própria fronteira do tecido). A figura 3 representa um interstício hipotético formado por cadeias pertencentes a peças e por parte da fronteira do tecido. O procedimento de extracção de interstícios limita-se, portanto, à detecção das cadeias e à combinação das cadeias que se fecham (isto é, conjunto de cadeias que começam e acabam na mesma peça). O processo limita-se a transformar certos polígonos noutros complementares, o que, para uma estrutura de dados adequada, se reduz a alterar a forma da base de dados com a colocação das formas maiores.

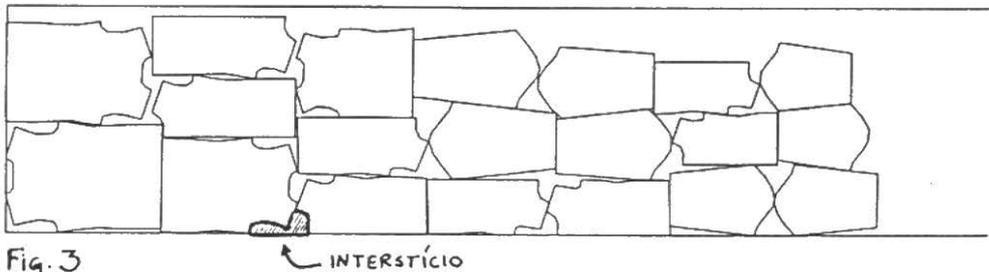


Fig. 3

Bloco C

O algoritmo implementado para a colocação das peças no interstício é iterativo: é colocada uma peça de cada vez, e após a colocação é retirada ao interstício a zona ocupada pela peça, repetindo-se o processo enquanto houver espaço no interstício. Este procedimento é repetido para todos os interstícios enquanto houver peças para colocar e enquanto houver interstícios com área suficiente para as conter.

O processo de colocação faz-se empurrando a peça a colocar para dentro do interstício e procurando intersecções da peça com a fronteira do interstício. O processo é iterativo, isto é, cada deslocamento é feito segundo um certo vector, cujo módulo pode ser menor ou maior, sendo o correspondente deslocamento mais ou menos fino, respectivamente. A direcção do vector do deslocamento é determinada pela posição dos pontos de intersecção na fronteira da peça (ver [14] para uma descrição detalhada de uma tabela de direcções permitidas em função dos pontos de intersecção). O processo pára quando não houver intersecções (peça colocada) ou quando a peça chegar à extremidade oposta daquela por onde entrou no interstício.

4. Implementação

Uma versão teste foi implementada num computador Norsk Data ND-570 (3 Whetstone MIPS) em FORTRAN 77. Na figura 4 mostra-se o resultado de uma riscada com 12 peças grandes e 22 peças pequenas. O tempo total gasto pelo sistema (tempo de CPU) foi de 98.6 segundos. A optimização dos algoritmos numéricos utilizados pode melhorar substancialmente o comportamento da presente implementação. Estimativas indicam que esta mesma riscada pode ser feita num tempo abaixo dos 60 segundos (nesta máquina).

5. Considerações Finais

A distinção entre peças pequenas e peças grandes é um passo crítico na implementação do método para um problema prático qualquer. Esta distinção pode ser subjectiva e dificilmente quantificável. Nos casos mais vulgares critérios baseados em área, perímetro, razão perímetro/área, comprimento, largura, ou

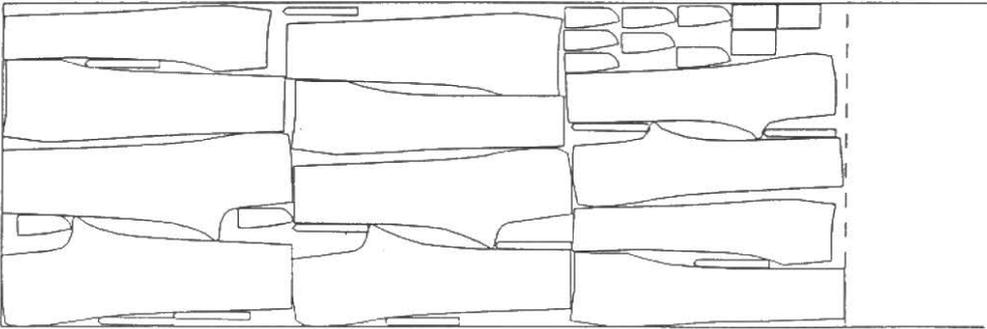


Fig. 4

combinações quaisquer destes parâmetros podem ser facilmente aplicados com bons resultados. A forma das peças também pode ser um dado importante, e processos que incluem técnicas de reconhecimento de padrões devem ser considerados. No caso prático com que nos deparamos critérios simples baseados em área e razão perímetro/área mostraram-se suficientes para a avaliação, mas foi sempre mantida a possibilidade de se poder determinar manualmente, num editor interactivo (quando se digitalizavam ou criavam as peças), quais as peças grandes e quais as peças pequenas.

Pretende-se ainda que um produto deste tipo esteja devidamente integrado num ambiente gráfico completo. A montante existirá um editor que permita criar e/ou alterar as formas das peças que se vão colocar, e a jusante existirá um outro editor que permita retocar manualmente a riscada automática (ou mesmo construí-la totalmente, desligando a possibilidade da riscada automática). Uma das opções seria a de que, durante a construção de uma riscada manual, o operador poderia a qualquer momento pedir uma sugestão à máquina de qual seria uma boa colocação da próxima peça (ver [16]). Durante o diálogo homem-máquina o operador pode aceitar a sugestão, alterá-la ou rejeitá-la. Uma das possibilidades que se pretende ainda dar ao operador é a da realização automática de riscadas off-line (por exemplo, durante a noite ou ao mesmo tempo que o operador está a fazer outro trabalho, como criar outras formas de base) para mais tarde serem reeditadas e eventualmente melhoradas manualmente.

A construção de riscadas constitui um processo ainda não compreendido e de difícil apreensão. O ser humano consegue construí-los sem qualquer ensino ou treino prévio e com a prática desenvolve técnicas que melhoram o resultado final e que reduzem o tempo requerido para completar a riscada. Algumas dessas técnicas são equacionáveis e algumas são intuitivas. E, no entanto, nossa convicção que o problema passa por uma codificação da fronteira das peças e por um tratamento do tipo apresentado em [17], em que técnicas heurísticas (implementadas por meio de técnicas de inteligência artificial) e de reconhecimento de padrões desempenham um papel fundamental. A extracção e manipulação dos atributos adequados a esta manipulação constitui a chave da solução do problema.

Referências

- [1] M.Adamowicz e A.Albano. "A Two-Stage Solution of the Cutting-Stock Problem", *Information Processing* 71, pp.1086-1091 (1972).
- [2] D.G.Laurent e S.S.Iyengar. "A Heuristic Algorithm for Optimal Placement of Rectangular Objects", *Information Sciences* 26, pp.127-139 (1982).
- [3] B.Baker, D.Brown e H.Katseff. "A $5/4$ Algorithm for Two-Dimensional Packing", *Journal of Algorithms* 2, pp.348-368 (1981).
- [4] M.Hofri. "Two-Dimensional Packing: Expected Performance of Simple Level Algorithms", *Information and Control* 45, pp.1-17 (1980).
- [5] H.Freeman e R.Shapira. "Determining the Minimum-Area Encasing Rectangle for an Arbitrary Closed Curve", *Communications of the ACM* 18, no.7, pp.409-413 (July 1975).
- [6] M.J.Haims e H.Freeman. "A Multistage Solution of the Template-Layout Problem", *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics* SSC-6, no.2, pp.145-151 (April 1970).
- [7] H.Freeman. "Computer Processing of Line-Drawing Images", *Computing Surveys* 6, no.1, pp.57-97 (March 1974).
- [8] H.Freeman. "On the Packing of Arbitrary-Shaped Templates", *Second USA-Japan Computer Conference* (1975).
- [9] D.Dori e M.Ben-Bassat. "Efficient Nesting of Congruent Convex Figures", *Communications of the ACM* 27, no.3, pp.228-235 (March 1984).
- [10] F.P.Preparata e M.I.Shamos. "Computational Geometry - An Introduction", Springer-Verlag, New York, USA (1985).
- [11] D.Dori e M.Ben-Bassat. "Circumscribing a Convex Polygon by a Polygon of Fewer Sides with Minimal Area Addition", *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 24, pp.131-159 (1983).
- [12] A.Y.C.Nee. "Computer Aided Layout of Metal Stamping Blanks", *Proc. Instn. Mech. Engrs.* 198B, no.10, pp.187-194 (1984).
- [13] A.Y.C.Nee. "A Heuristic Algorithm for Optimum Layout of Metal Stamping Blanks", *Annals of the CIRP* 33, no.1, pp.317-320 (1984).
- [14] F.J.Simões. "Colocação Automática de Formas Têxteis; Estendimentos", tese apresentada no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Licenciatura (1986).
- [15] A.Albano e G.Sapuppo. "Optimal Allocation of Two-Dimensional Irregular Shapes Using Heuristic Search Methods", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* SMC-10, no.5, pp.242-248 (May 1980).
- [16] A.Albano. "A Method to Improve Two-Dimensional Layout", *Computer Aided Design* 9, no.1, pp.48-52 (January 1977).
- [17] H.Freeman e L.Garder. "Apictorial Jigsaw Puzzles: The Computer Solution of a Problem in Pattern Recognition", *IEEE Transactions on Electronic Computers*, ?, pp.118-127 (April 1964).