تقليل الزمن الكلي للجدولة في نماذج تدفق الأعمال

إبراهيم أحمد بادي، علي محمد عبدالشاهد، و أحمد الفيتوري التريكي

كلية الهندسة - جامعة مصراتة

الملخص Abstract:

إن عملية تخصيص الموارد المختلفة من معدات وعمال وآلات على الأنشطة هي عملية معقدة وذلك لوجود عدد كبير من الحلول. تدرس هذه الورقة المفاهيم الأساسية في عملية جدولة الأعمال على الآلات في نموذج تدفق الأعمال Flow shop model، وتستعرض ثلاث من الخوارزميات المستخدمة في الحل هي خوارزمية Campbell و Nawaz وMaiza. تم إعداد كود باستخدام برنامج الماتلاب للمقارنة بين نتائج هذه الخوارزميات عند عدد آلات تتراوح بين 3 آلات و 20 آلة وكذلك عدد أعمال تراوح بين 4 و 20 عملا. تم توليد أزمنة الأعمال عشوائيا 100 مرة عند كل مستوى من المستويات. أظهرت النتائج تفوق خوارزمية Nawaz في 61% من الحالات بينما تساوى الحل في 18% من حالات الاختبار. لقد تم قياس جودة الحل من حيث الزمن الكلي لانتهاء الأعمال (مدة الصنع) إضافة إلى الزمن المستغرق للوصول إلى الحل.

كلمات مفتاحية: جدولة، تدفق الأعمال، الإنتاج.

المقدمة Introduction:

تعرف الجدولة ($scheduling$) بأنها عملية تخصيص للموارد المتاحة (معدات، عمالة، مواد، مساحات) على الأعمال والأنشطة اللازمة أو على الأوامر الإنتاجية ($jobs$)، أو على خدمة مجموعة من المستهلكين. ومن أمثلة ذلك تخصيص آلات معينة لتنفيذ أوامر إنتاجية محددة، أو تخصيص ممرضات أو أطباء للقيام بخدمة مجموعة مرضى، وغيرها [1].

توجد العديد من الدراسات حول تقليل الزمن الكلي للجدولة في نموذج تدفق الأعمال، حيث قام Govindan وآخرون باقتراح نموذج هجين لحل هذه المسألة يتكون من شجرة القرار والبحث العشوائي [2]. أما في دراسة Ancau [3] فقد تم تطوير خوارزميتين لحل مسائل الجدولة الكبيرة نسبيا، كما قام Chen وآخرون [4] بتطوير خمس خوارزميات جينية لنماذج احتمالية خاصة بالجدولة في نموذج تدفق الأعمال. كما اقترح كل من Nawazو آخرين [5] و Maiza وآخرين [6] و Campbell وآخرين [7] نماذج للجدولة وسيتم استخدامها في هذه الورقة للمقارنة بين النتائج المتحصل عليها من كل نموذج من حيث مدة الإكمال وكذلك الزمن اللازم لإجراء الحسابات باستخدام الحاسوب.

تعريفات هامة [1]

في جميع مشاكل الجدولة يتم عادة افتراض أن عدد الأعمال والآلات يكون محدوداً. ويدل الرمز n على عدد الأعمال والرمز m على عدد الآلات، وعادة ما يشير الرمز j إلى

العمل في حين يشير الرمز i إلى الآلة، وإذا ما تطلب العمل المرور على عدد من خطوات المعالجة أو عمليات التشغيل فعندها يشير الزوج $(i،j)$ إلى خطوة تجهيز أو تشغيل العمل j على الآلة i. وترتبط الرموز التالية من البيانات مع العمل j وهي [1]:

- **الوقت اللازم للتشغيل (p_{ij})** يمثل p_{ij} الوقت اللازم لتشغيل العمل j على الآلة i. يتم حذف الرمز i إذا كان الوقت اللازم لتشغيل العمل j لا يعتمد على الآلة أو إذا كان العمل j يمثل عملية تتم معالجتها على آلة واحدة فقط .
- **مواعيد العرض (r_j)** موعد العرض r_j للعمل j قد تتم الإشارة إليه بمواعيد جاهزة، ويمثل وقت وصول العمل للنظام، أي أقرب وقت يمكن أن يبدأ به العمل j التشغيل على الآلة.
- **تاريخ الاستحقاق (d_j)** تاريخ استحقاق العمل d_j يمثل تاريخ التسليم أو تاريخ الانتهاء. يسمح الانتهاء من العمل بعد تاريخ استحقاقه ولكن بعد تكبد شرط جزائي، وعند الإيفاء بها ما بعد تاريخ الاستحقاق يشار إليها بتاريخ نهائي $deadline\ date$ بواسطة الرمز $\bar{d}_j$.
- **الوزن (w_j)** الوزن w_j يمثل أهمية العمل j وهو في الأساس عامل الأولوية، ويدل على أهمية العمل j نسبة إلى الأعمال الأخرى في النظام. وعلى سبيل المثال هذا الوزن قد يمثل التكلفة الفعلية لإبقاء المهمة في النظام، هذه التكلفة يمكن أن تكون غرامات التأخير أو تكاليف التخزين، كما أنها يمكن أن تمثل مقدار القيمة المضافة لهذا العمل.

وتوصف مشاكل الجدولة بواسطة الثلاثي $\alpha \mid \beta \mid \gamma$ ، حيث يصف المجال α الوسط والقيود لآلة إدخال واحدة فقط، ويصف المجال β تفاصيل خصائص التشغيل والقيود وقد يحتوي مدخل واحد أو عدة مداخل، وربما لا يحتوي على أي إدخال على الإطلاق، والمجال γ يصف الهدف ليكون الحد الأدنى وغالبا ما يحتوي على مدخل واحد. ويمكن أن تحدد أهم نماذج الآلات في المجال α بالنماذج التالية:

- **نموذج الآلة الواحدة (Sm)** و تعتبر من أبسط النماذج، ويمكن أن تكون كحالة خاصة أكثر تعقيداً من النماذج الأخرى.
- **نموذج الآلات المتماثلة بالتوازي (Pm)** هناك مجموعة آلات m متماثلة بالتوازي .إذ يتطلب العمل عملية واحدة، ويمكن معالجتها على أي آلة من الآلات أو على أي آلة تنتمي إلى مجموعة فرعية معينة.
- **نموذج الآلات المتوازية ذات سرعات مختلفة (Qm)** هناك مجموعة آلات m بالتوازي ذات سرعات مختلفة ، ويدل على سرعة الآلة i بالرمز v_i . والوقت p_{ij} هو العمل j الذي يصرف على الآلة i ويساوي p_j/v_i (أي بافتراض العمل j يتلقى كل التشغيل من الآلة i)، ويشار لهذا الوسط بالآلات الموحدة.

- **نموذج تدفق الأعمال (Fm)** هناك مجموعة آلات m متسلسلة ، وكل عمل لابد من معالجته على كل آلة من الآلات m ، وجميع الأعمال يجب أن تتبع نفس المسار، أي أنها يجب أن تتم معالجتها أولا على الآلة الأولى، ثم على الآلة الثانية،... وهكذا، وبعد الانتهاء على الآلة الأولى ينظم العمل لقائمة الانتظار في الآلة التالية، وعادة ما يفترض لكافة قوائم الانتظار العمل تحت قاعدة " الداخل أولا يخرج أولا First In First " Out $(FIFO)$ وهذا يدل على أن العمل لا يمكن أن " يمرر" بعد الأعمال التالية، وإذا كانت القاعدة $FIFO$ هي في الواقع تشير إلى تدفق الأعمال كأعمال تبديلية $permutation\ flow\ shop$ ويشمل المجال β الإدخال $prmu$.
- **نموذج تدفق الأعمال المرنة (FFc)** نموذج تدفق الأعمال المرنة هو أكثر تعميم لنموذج تدفق الأعمال وأوساط الآلات المتوازية، بدلا من مجموعة الآلات m المتسلسلة، هناك مراحل c متسلسلة وكل مرحلة تحتوي على عدد من الآلات المتماثلة بالتوازي وكل عمل لابد من معالجته أولا في المرحلة الأولى، ثم في المرحلة الثانية وهكذا. في كل مرحلة c يتطلب معالجة العمل j على آلة واحدة فقط وأي آلة يمكنها القيام بذلك في المرحلة c، وقوائم الانتظار بين المراحل المختلفة يمكن أو لا يمكن أن تعمل وفقا لقاعدة الداخل أولا يخرج أولا $(FIFO)$.
- **نموذج قوائم العمل (Jm)** في قوائم العمل مع الآلات m لكل عمل له مساره الخاص محدد بواحدة فقط وبين الأعمال الأخرى التي قد يزور فيها كل عمل كل آلة أكثر من مرة، فإن المجال β يحتوي على الإدخال $rcrc$ لإعادة التوزيع .

ويمكن لقيود المعالجة المحددة في المجال β أن تتضمن عدة مداخل منها:

- **تاريخ العرض (r_j)** إذا ظهر الرمز r_j في المجال β فهذا يعني أنه يمكن معالجة العمل j قبل تاريخ العر r_j ، وإذا لم يظهر الرمز r_j في المجال β فيمكن أن تبدأ معالجة العمل j في أي وقت من الأوقات.
- **حقوق الأولوية $(prmp)$** حقوق الأولوية تعني أنه ليس من الضروري إبقاء العمل على الآلة من بداية التشغيل حتى انتهائه . تسمح الجدولة بمقاطعة تشغيل العمل (أسبقية) عند أي نقطة في الوقت المناسب، ووضع عمل آخر على الآلة بدلا من العمل السابق، بحيث لا تضيع كمية المعالجة التي أجريت على العمل الذي تم إيقافه، وعند مقاطعة عمل يتم بعد ذلك إدخاله مرة أخرى على الآلة (أو على آلة أخرى في حالة الآلات المتوازية)، فإنه يحتاج فقط لوقت المعالجة المتبقي له، ويتم تضمين $prmp$ عندما يسمح بالأسبقية في المجال β ، ولا يتم تضمين $prmp$ عندما لا يسمح بالأسبقية.
- **قيود الأسبقية $(prec)$** قد تظهر قيود الأسبقية في نموذج الآلة الواحدة أو في نموذج الآلات المتوازية والذي قد يتطلب عمل واحد أو أكثر من الأعمال على أن يكون له أسبقية الاكتمال قبل أن يسمح لعمل أخر لبدء التشغيل له.
- **وقت التهيئة أو الإعداد (s_{jk})** يمثل s_{jk} تسلسل يعتمد على وقت الإعداد الذي يتم تكبده بين معالجة الأعمال j و k ؛ ويدل s_{0k} على وقت الإعداد للعمل k إذا كان

العمل k هو الأول في التسلسل، ويمثل s_{j0} وقت التشطيب بعد العمل j وبذلك يكون العمل j هو الأخير في التسلسل، (s_{0k} و s_{j0} قد يكون صفرا) . وإذا كان وقت الإعداد بين الأعمال j و k يعتمد على الآلة، يتم تضمين الرمز i ، أي بمعني s_{ijk} . وإذا لم يظهر s_{jk} في المجال β ، يفترض لجميع أوقات الإعداد أن تكون صفرا أو تسلسل مستقل ، وفي هذه الحالة يتم ببساطة إدراجها في أوقات المعالجة.

- **الإنتاج بالدفعات** $\boldsymbol{batch}$ يعتبر نمط الإنتاج بالدفعات مغايراً للنمط الإنتاجي السابق من حيث تصنيع المنتوج. و وفقاً لهذه الطريقة (الإنتاج بالدفعات) يبدأ العمل على أجزاء المنتوج التام وفق ما هو محدد لها في التركيبة الفنية له حيث يتم اطلاق أوامر العمل إلي خطوط الإنتاج على شكل دفعات حيث يتم تصنيعها حسبما هو محدد لها في المسار التكنولوجي لتصنيع أجزاء الدفعة. يبدأ العمل على تلك الأجزاء (الواحد بعد الأخر) إلي حين إكمالها حيث أنه لا يجوز اطلاق الجزء بعد إكماله إلي العملية الإنتاجية اللاحقة.
- **الأعطال** $(\boldsymbol{brkdwn})$ أعطال الآلة تعني أن الآلة قد لا تكون متاحة بشكل مستمر. وإذا كان هناك عدد من الآلات المتماثلة التي تعمل بالتوازي، فإن عددا من الآلات المتوفرة في أي نقطة زمنية هي دالة في الزمن m(t). ويشار في بعض الأحيان لأعطال الآلة بقيود توافر الآلة.
- **التقليب** $(\boldsymbol{prmu})$ من الصعوبات التي قد تظهر في وسط تدفق الأعمال $(flow\ shop)$ هو أن تسلسل الأعمال أمام كل آلة تعمل وفقا لقاعدة الداخل أولا يخرج أولا ($FIFO$) . هذا يعني أن ترتيب الأعمال التي تمر من خلال أول آلة يتم الاحتفاظ بها في جميع أنحاء النظام.
- **عدم الانتظار** $(\boldsymbol{nwt})$ شرط عدم الانتظار هو ظاهرة أخرى ممكن أن تحدث في نموذج تدفق الأعمال، حيث لا يسمح للأعمال بالانتظار بين آلتين متتاليتين. وهذا يعني أن وقت بدء العمل في الآلة الأولى يجب أن يتأخر لضمان أن العمل يمكن أن يمر من خلال تدفق الأعمال دون الحاجة لانتظار أي آلة.

الهدف أن يكون الحد الأدنى، وهو دائما يعتمد على أوقات انتهاء الأعمال، والتي بالطبع تعتمد على الجدول الزمني، ويدل علي وقت الانتهاء من تشغيل العمل j على الآلة i بـ C_{ij}، ووقت العمل j عند الخروج من النظام (هو وقت استكماله على الآلة الأخيرة التي تقوم بمعالجتها) يشار إليه بواسطة الرمز C_j، والهدف قد يكون أيضا دالة لتواريخ الاستحقاق. يتم تعريف الفارق الزمني $lateness$ للعمل J كالتالي:

$$L_j = C_j - d_j \qquad (1)$$

وتدل الإشارة الموجبة على أن العمل j اكتمل في وقت متأخر والإشارة السالبة تدل على اكتماله في وقت مبكر، يتم تعريف مدة التأخير $Tardiness$ للعمل j كالتالي :

$$T_j = \max(C_j - d_j ،0) = \max(L_j ،0) \qquad (2)$$

الفرق بين الفارق الزمني و مدة التأخير يكمن في حقيقة أن مدة التأخير دائما موجبة، غرامة الوحدة من العمل j تعرف كالتالي :

$$U_j = \begin{cases} 1 \text{ if } C_j > d_j \\ 0 \; otherwise \end{cases} \qquad (3)$$

ومن أمثلة دوال الهدف (معايير الجدولة) المطلوبة بحدها الأدنى هي:

- **مدة الصنع (C_{max})** مدة الصنع تعرَّف كـ$\max(C_1, \ldots, C_n)$ ، وهي ما يعادل وقت الانتهاء من آخر عمل يغادر نظام الإنتاج، والحد الأدنى لمدة الصنع عادة ما تدل على الاستفادة الجيدة من الآلة.
- **الحد الأقصى للفارق الزمني (L_{max})** يعرف كـ $\max(L_1, \ldots, L_n)$، وهو يدل على أقصى تأخر للأعمال عن تواريخ استحقاقها .
- **إجمالي زمن الانتهاء الموزون $(\sum w_j C_j)$** إجمالي أوقات الانتهاء الموزون من الأعمال n يعطي مؤشرا لإجمالي تكاليف المخزون التي يتم تكبدها من خلال الجدولة. مجموع أوقات الانتهاء غالبا ما يشار إليها بزمن التدفق $(Flow\ time)$، ويشار إلى إجمالي زمن الانتهاء الموزون بالزمن الانسيابي الموزون.
- **خصم إجمالي زمن الانتهاء الموزون $(\sum w_j (1 - e^{-rC_j}))$** هو دالة تكلفة تعتبر أكثر عمومية من سابقتها، حيث يتم فيها خصم التكاليف بمعدل r ، $0 < r < 1$ لكل وحدة زمنية، أي إذا لم يتم الانتهاء من العمل قبل الوقت t فإنها توقع تكلفة إضافية $w_j r e^{-rt}\, dt$ خلال الفترة $[t, t + dt]$. وإذا تم الانتهاء من العمل j في الوقت t فإن التكلفة الإجمالية التي تحدث خلال الفترة $[\,0, t\,]$ هي $w_j (1 - e^{-rt})$ ، وتكون قيمة r في الغالب قريبة من 0، وتكون 0.1 أو 10 ٪ .
- **إجمالي التأخر الموزون $(\sum w_j T_j)$** وهذا هو أيضا دالة تكلفة تعتبر أكثر عموما من إجمالي زمن الانتهاء الموزون.
- **العدد المرجح لتأخر الأعمال $(\sum w_j U_j)$** العدد المرجح لتأخر الأعمال ليس مجرد مقياس أكاديمي ، بل هو في الغالب هدف عملي يعمل كمقياس يمكن تسجيله بسهولة، جميع دوال الهدف أعلاه تسمى مقاييس الأداء المنتظم، مقياس الأداء المنتظم هو دالة غير متناقصة $nondecreasing$ في $C_1, \ldots, C_n$. وفي الآونة الأخيرة بدأ الباحثون بدراسة دوال الهدف الغير منتظمة. على سبيل المثال، عندما يكون العمل j لديه تاريخ استحقاق d_j، ربما تخضع عندها لعقوبة التبكير $earliness$، ويمكن تعريف التبكير للعمل j كالتالي:

$$E_j = max(d_j - C_j, 0) \qquad (4)$$

عقوبة التبكير تمثل عدم التناقص في C_j. الهدف يمثل إجمالي التبكير مضافاً إليه إجمالي التأخر، أي:

$$\sum_{j=1}^{n} E_j + \sum_{j=1}^{n} T_j \qquad (5)$$

بالتالي فهي غير منتظمة. وثمة هدف أكثر عمومية للدوال الغير منتظمة وهو إجمالي التبكير الموزون مضافاً إليه إلى إجمالي التأخر الموزون، أي:

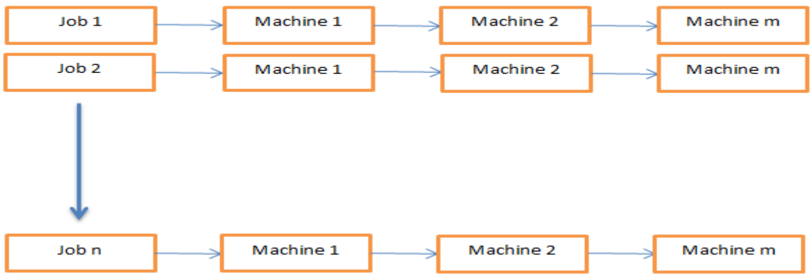
$$\sum_{j=1}^{n} w_j' E_j + \sum_{j=1}^{n} w_j'' T_j \qquad (6)$$

الوزن المصاحب للتبكير في العمل j (w_j') قد يكون مختلفا عن الوزن المصاحب للتأخر في العمل j (w_j'').

نماذج تدفق الأعمال:

في مسائل تدفق الأعمال $(flow\ shop)$ يوجد عدد (m) من الآلات المختلفة وعدد (n) من الأعمال، وكل عمل من هذه الأعمال يحتوي على عدد من العمليات$(operations)$، وكل عملية من هذه العمليات تعالج بآلة مختلفة عن الأخرى بحيث أنه لا يمكن معالجة أي عملية إلا بعد الانتهاء من معالجة العملية التي قبلها عند نفس العمل وهكذا مع باقي الأعمال، وجميع الأعمال يجب أن تتبع نفس المسار على الآلات، أي أنها يجب أن تتم معالجتها أولاً على الآلة 1 ثم على الآلة 2 وهكذا. بعد الانتهاء من الآلة الأولى ينظم العمل لقائمة الانتظار على الآلة التالية، كما موضح بالشكل (1). من الأمور المهمة في مسائل الجدولة هو إيجاد أفضل تسلسل لمجموعة من الأعمال $(Jobs)$ عند التشغيل بحيث يعطي هذا التسلسل أقل وقت تنفيذ ممكن $(Makespan)$، وتعتبر أعداد التسلسلات لعدد n من الأعمال هي مضروب الأعمال (n!) لذا فإن عملية البحث لجميع التسلسلات تستهلك وقتا طويلا عندما يكون عدد الأعمال n كبيراً، لذلك قام العديد من الباحثين بتطوير العديد من خوارزميات الجدولة تقوم بتحليل جدولة جزئية (مجموعة فرعية من الأعمال) وترتب بشكل تدريجي للوصول إلى الحل النهائي، وهذه الخوارزميات تعمل على تحسين أداء معيار واحد أو عدة معايير في إطار قيد واحد أو عدة فئات من القيود. وسيتم في هذه الورقة دراسة نموذج تدفق الأعمال $(flow\ shop)$ مع الأخذ في الاعتبار الفرضيات التالية:

- جميع الأعمال جاهزة للتشغيل عند الوقت $r_j = 0$.
- جميع الآلات تكون متوافرة بصورة مستمرة.
- جميع أوقات التشغيل للعمليات أكبر من أو تساوي الصفر.
- جميع الآلات لا يمكن أن تشغل أكثر من عملية واحدة عند نفس الوقت.
- يمكن للأعمال أن تنتظر بين الآلات.
- يمكن إدراج أوقات إعداد الآلات مع أوقات تشغيل الأعمال على الآلات.



شكل (1) تتابع عمليات الإنتاج

أ. جدولة تدفق الأعمال باستخدام خوارزمية Campbell ($F_m \,||\, C_{max}$)

خطوات الخوارزمية:

1. إنشاء مصفوفة nxm لأوقات التشغيل p_{ij}، حيث p_{ij} هو الوقت اللازم لتشغيل العمل j على الآلة i؛ $\mathrm{j} = 1، 2، \ldots، \mathrm{n}$، $\mathrm{i} = 1، 2، \ldots، \mathrm{m}$.
2. إنشاء عدد n من الأعمال المساعدة ، وعدد 2 من مراكز الآلات ، لعدد من مشاكل الآلات p ، حيث $\mathrm{p} = \mathrm{m} - 1$. وتعيين $\mathrm{k} = 1$ للمساعدة على حل المشكلة الأولى.
3. حساب الوقت اللازم للتشغيل وإنشاء ناقلات الصف من وقت المعالجة على مركز الآلات MC1 لكل عمل.
4. حساب الوقت اللازم للتشغيل وإنشاء ناقلات الصف من وقت المعالجة على مركز الآلات MC2 لكل عمل.
5. تطبيق خوارزمية جونسن Johnson لعدد n من الأعمال وعدد 2 من مراكز الآلات، وتحديد تسلسل الأعمال وتخزينه في المتغير $\mathrm{S_k}$.
6. تحقق من k مع p؛ إذا كانت $\mathrm{k} < \mathrm{p}$، قم بتعيين $\mathrm{k} = \mathrm{k} + 1$ وانتقل إلى الخطوة 3؛ وإذا كانت $\mathrm{k} = \mathrm{p}$ انتقل إلى الخطوة التالية.
7. باستخدام المصفوفة nxm الأصلية لأوقات التشغيل، قم بحساب وقت التنفيذ الكلي ($Makespan$) لجميع تسلسلات الأعمال $\mathrm{S_k}$ التي تم إنشاؤها.
8. تحديد الحد الأدنى من وقت التنفيذ الكلي لتسلسلات الأعمال كأفضل تسلسل.

ب. جدولة تدفق الأعمال باستخدام خوارزمية Nawaz ($F_m \,||\, C_{max}$)

خطوات الخوارزمية:

1. حساب مجموع أوقات تشغيل الأعمال على الآلات من خلال المعادلة $P_j = \sum_{i=1}^{m} p_{ij}$. حيث p_{ij} هو الوقت اللازم لتشغيل العمل j على الآلة i.
2. ترتيب الأعمال ترتيباً تنازلياً من المعادلة P_{j}.

3. اختيار الأعمال من المركزين الأول والثاني من قائمة الخطوة 2، وإيجاد أفضل تسلسل لتشغيل هذه الأعمال عن طريق حساب زمن التنفيذ الكلي (C_{max}) لكلا التسلسلين المحتملين.
لا تتغير المواقف النسبية لهذه الأعمال لكلا التسلسلين، تعيين $k = 3$.
4. اختيار العمل في الموقع k من قائمة أنشأت في الخطوة 2 وإيجاد أفضل تسلسل عن طريق وضعها في جميع المواقع المحتملة k في تسلسل جزئي وجد في الخطوة السابقة، دون تغيير المواقف بالنسبة لبعضها البعض من الأعمال المخصصة بالفعل .
عدد التكرارات عند هذه الخطوة يساوي k.
5. إذا كان $k = n$ إيقاف، تعين خلاف ذلك $k = k + 1$ وانتقل إلى الخطوة 4.

ج. جدولة تدفق الأعمال باستخدام خوارزمية Maiza $(F_m \,||\, C_{max})$

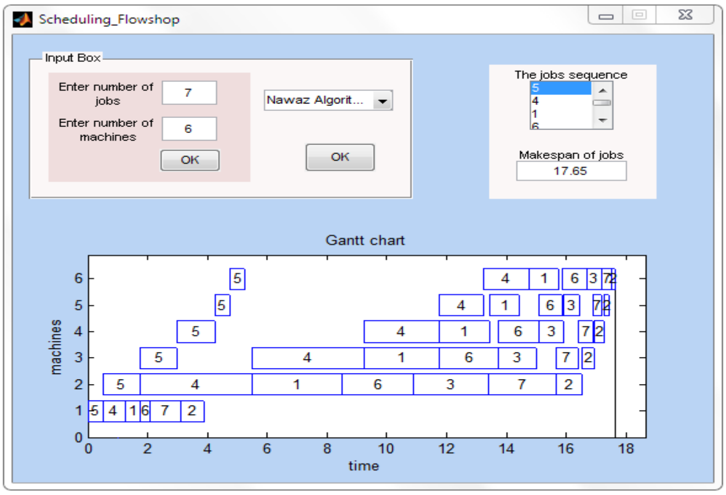
خطوات الخوارزمية

1. استخدم أوقات تشغيل الأعمال على الآلات لحساب أزمنة الإنجاز $C_{(jj')m}$ ، $C_{(j'j)m}$ لكل زوج من الأعمال (j،j′).
2. قارن بين $C_{(jj')m}$ ، $C_{(j'j)m}$، ثم وضع علامة للعمل الذي لديه أصغر زمن إنجاز.
3. كرر الخطوتين السابقتين لجميع الأزواج من الأعمال.
4. لكل عمل j عدد من العلامات، يتم اختيار الأعمال وفقا لتناقص عدد العلامات. إذا كان لدى عدة أعمال نفس العدد من العلامات، تطلب من خلال الترتيب التنازلي لمجموع أوقات التشغيل على الآلات.

مقارنة خوارزميات تدفق الأعمال $(F_m \,||\, C_{max})$

تم إعداد كود باستخدام برنامج ماتلاب وتشغيل البرنامج باستخدام جهاز بمواصفات Intel Core 5, 2.5-GHz with 4 GB RAM لغرض مقارنة النتائج المتحصل عليها من كل من خوارزمية *Campbell*، خوارزمية *Nawaz*، خوارزمية Maiza، حيث تم توليد بيانات عشوائية لأوقات تشغيل الأعمال على الآلات وفقاً لتوزيع موحد على الفترة [1:20] باستخدام برنامج ماتلاب، وكذلك تم اختيار عدد من الأعمال في الفترة [4:20]، وعدد من الآلات في الفترة [3:20]، وبتكرار 100 حالة كما موضح بالجدول (1).

ويوضح الشكل (2) الشاشة الرئيسية للبرنامج، حيث يمكن إدخال البيانات يدويا لمجموعة معينة من الأعمال والآلات ومن ثم اختيار الخوارزمية المطلوبة لتنفيذ الحل، أو يمكن توليد بيانات عشوائية.



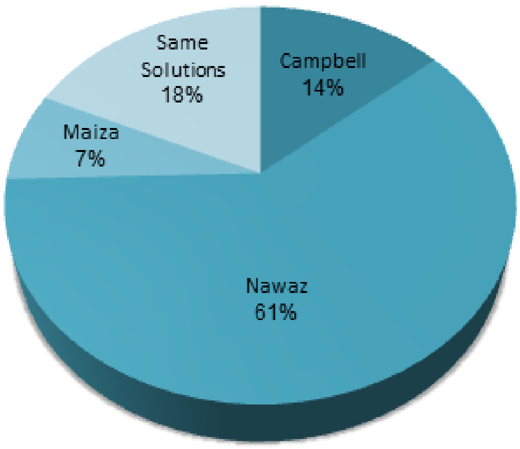
شكل (2) الشاشة الرئيسية للبرنامج

يوضح العمود الأول بالجدول (1) عدد الأعمال، والعمود الثاني عدد الآلات. توضح الأعمدة تحت Number of solutions عدد الحلول التي تفوقت بها كل خوارزمية من الخوارزميات الثلاث أو تساوت فيها الحلول. أما الأعمدة الثلاثة الأخيرة فتوضح الزمن المستغرق لايجاد الحل (بالثانية) عند استخدام كل خوارزمية من الخوارزميات الثلاث.

جدول (1) المقارنة بين خوارزميات جدولة تدفق الأعمال

ber of jobs	nber of achines	Number of Solutions				Time of Solution		
		Cam	Naw	Maiz	The s	Camp	Naw	Maiz
4	3	7	28	20	45	0.365	0.02	0.04
4	4	12	23	14	51	0.041	0.02	0.06
4	5	15	28	16	41	0.056	0.02	0.06
4	6	14	24	15	47	0.075	0.02	0.05
4	10	26	28	7	39	0.134	0.02	0.07
4	15	29	32	8	31	0.202	0.03	0.06
4	20	48	21	6	25	0.284	0.02	0.06
5	3	5	45	14	36	0.028	0.03	0.07
5	10	24	46	12	18	0.137	0.03	0.07
5	15	41	34	6	19	0.217	0.03	0.09
5	20	43	41	3	13	0.299	0.03	0.08
10	5	8	79	11	2	0.082	0.10	0.16
10	10	8	87	5	0	0.194	0.11	0.18
10	15	2	86	4	8	0.308	0.12	0.18
10	20	7	90	2	1	0.428	0.12	0.19
15	5	3	91	5	1	0.106	0.22	0.29
15	10	1	98	1	0	0.250	0.26	0.29
15	15	0	99	1	0	0.399	0.28	0.30
20	5	1	97	2	0	0.128	0.42	0.44
20	10	0	99	1	0	0.304	0.49	0.47
20	20	0	100	0	0	0.682	0.61	0.47

ويلاحظ من الشكل (3) أن خوارزمية Nawaz تعطي حلا أفضل في 61% من الحالات التي تم دراستها، بينما خوارزمية Campbell تعطي أفضل الحلول بنسبة 14%، في حين تعطي خوارزمية Maiza أفضل الحلول بنسبة 7%، إلا أنه بنسبة 18% تكون جميع الخوارزميات متساوية في نفس الحلول، كما موضح بالشكل (3). لذلك، إذا كنا نستند فقط على مقارنة قيم الحلول، وكذلك من خلال النتائج التي قدمت في الجدول (1)، فإنه يمكن القول بأن خوارزمية Nawaz هي أكثر كفاءة، ولا سيما في حالة حدوث مشاكل مع أعداد كبيرة من الأعمال والآلات، وهي في أغلب الأحيان تتمثل في مشاكل العمليات الإنتاجية.



شكل (3) مقارنة حلول الخوارزميات

الخلاصة Conclusion:

توضح هذه الورقة المفاهيم الأساسية المستخدمة في الجدولة بشكل عام، وتقارن بين ثلاثة خوارزميات لحل مسائل الجدولة في نموذج تدفق الأعمال. لقد تم إعداد كود باستخدام برنامج الماتلاب لغرض إجراء المقارنة بين نتائج هذه الخوارزميات عند مستويات مختلفة من عدد الآلات والأعمال. وأوضحت النتائج تفوق خوارزمية Nawaz في 61% من الحالات التي تم دراستها.

المراجع References:

1- Michael Pinedo. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. Prentice-Hall, Englewood Cli_s, New Jersey, 1995.

2- Kannan Govindan 1 R.Balasundaram2 N.Baskar 3 P.Asokan, A hybrid approach for minimizing makespan in permutation flowshop scheduling, J Syst Sci Syst Eng,

3- Mircea, A. (2012). On solving flowshop scheduling problems. Proceeding of the Romanian Academy, Series A, 13(1):71-79.

4- Chen, S., Chang, P.C., Cheng, TCE. & Zhang, Q. (2012). A self-guided genetic algorithm for permutation flowshop scheduling problems. Computers & Operations Research, 39(7): 1450-1457

5- M. Nawaz, E. E. Enscore Jr. and I. Ham (1983): A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow-shop Sequencing Problem. OMEGA The Int. JI of Mgmt Sci. Vol.11: 91-95

6- *M. Maiza, H. Hentous, A. Labed,* (2006): An Efficient Heuristic for Scheduling a Flowshop to Minimize the Makespan Criterion. 11th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'06): 536-540,

7- Campbell, H. G.; Dudek, R. A.; Smith, M. L., (1970): A Heuristic Algorithm for the n Job, m Machine Sequencing Problem, Management Science, 16 (10), 630-637.

8- Miloš Šeda, (2008): Mathematical Models of Flow Shop and Job Shop Scheduling Problems, International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences, 4(4).