

مدل تخصیص منابع در چند پروژه به کمک شبیه سازی

بهزاد اشجری
دانشجوی دکتری

سید محمدتقی فاطمی قمی
دانشیار

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

تعداد روش های حلی که بتوانند منابع را به فعالیت های يك پروژه که دارای زمان های احتمالی می باشد، تخصیص دهد، محدود است. به علت پیچیدگی محاسبات، عمده روش های موجود (بهینه، غیر بهینه و ابتکاری) زمان انجام فعالیت ها را ثابت فرض می کنند. این پیچیدگی هنگامی بیشتر می شود که پروژه ها متعدد بوده و تخصیص منابع مشترک در اجرای این پروژه ها مدنظر باشد. هدف بررسی از طرفی انجام پروژه ها در کوتاهترین زمان ممکن است و از طرف دیگر کاربرد مؤثر منبع است: ضمن آنکه مدل ارائه شده باید قادر به رعایت پیش نیازها باشد، در این مقاله مسئله تخصیص منابع مشترک به پروژه ها در يك ساختار کلی و از درجه يك سیستم صف چند کاناله مورد ارزیابی قرار گرفته است. آنگاه به کمک کاربرد زبان شبیه سازی (GPSS) مدلی تهیه و شبیه سازی شده است. نتایج حاصل از مدل شبیه سازی شده قادر است تابع توزیع زمان انجام پروژه ها را به تفکیک و تابع توزیع متغیر منبع مصرفی را به عنوان دو هدف اصلی ارائه دهد. مثال عددی نیز آورده شده است.

A Simulation Model for Multi-Project Resource Allocation

S.M.T. Fatemi Ghomi
Associate Professor

B. Ashjari
Postgraduate Student

Industrial Engineering Department,
Amirkabir University of Technology

Abstract

There are limited solution techniques available for resource constrained single project scheduling with stochastic task durations. Due to computational complexity, optimal solution or heuristics for scheduling have been found useful for large deterministic problems. This complexity is more and more for common resource constraint with multi-projects (parallel projects). The main objective of this problem is scheduling the projects as soon as possible with better utilization of common available resource constraint. This paper considers the problem of multi-project resource allocation (MPRA) as a multi-channel queueing system. Simulation modelling has been used to solve MPRA problem. This paper demonstrates a framework and a procedure with use of a general purpose simulation language like GPSS's blocks to generate a simulation model. Then to show how the model works, a numerical example is given and statistical results are recorded. The model has capability to obtain the completion time distribution function for each project, throughput time (makespan) and consumed resource distribution.

Keywords

Resource allocation, Scheduling projects, Simulation modelling, Multi-project

بعد از جنگ جهانی دوم موضوع برنامه ریزی پروژه های بزرگ حوزه وسیعی از تحقیقات را به خود اختصاص داد. تحقیقات اولیه ای که در این زمینه صورت گرفته منجر به تعیین زمان شروع فعالیت ها شده به گونه ای که پروژه در حداقل زمان ممکن، انجام شود. این تحقیقات اولیه منجر به پیدایش تکنیک های CPM و PERT گردید [1]. تکنیک CPM مربوط به آنالیز پروژه هایی است که دارای فعالیت با زمان انجام معین بوده و تکنیک PERT مربوط به آنالیز پروژه هایی است که دارای فعالیت با زمان احتمالی است. در هر دو تکنیک فرض بر این است که منابع نامحدود می باشند. از سوی دیگر تحقیقاتی در زمینه دستیابی به تکنیک های بهینه جهت برنامه ریزی و تخصیص منابع محدود به پروژه هایی که با تکنیک CPM آنالیز می گردند، صورت گرفته است. از میان الگوریتم های پیشنهاد شده الگوریتمی است که اخیراً توسط دتمولستر و هرولن [2] ارائه شده است. اکثر این الگوریتم ها براساس تکنیک های موجود در تحقیق در عملیات پی ریزی شده است. اما نکته مهمی که در کلیه این الگوریتم ها مورد توجه است حساس بودن الگوریتم و یا به عبارت دیگر وابسته بودن الگوریتم به اندازه پروژه است. منظور از اندازه پروژه تعداد فعالیت های یک پروژه است. به طوری که اگر تعداد این فعالیت ها از ۵۰ بیشتر گردد، روش ها به لحاظ محاسباتی مشکل شده و دچار پیچیدگی می گردند. به علت وجود این پیچیدگی محققین دیگری روش های ابتکاری را طراحی کرده اند [3, 4, 5]. هدف در اکثر این روش ها برنامه ریزی پروژه به نحوی است که پروژه در زودترین زمان خود به اتمام رسد. این روش ها عموماً برای حالتی است که فعالیت ها از زمان قطعی برخوردار باشند و مختص به یک پروژه باشد. چنانچه پروژه های متعدد همگی از یک منبع مشترک استفاده می کنند و دارای فعالیت هایی با زمان احتمالی باشند، برنامه ریزی پیچیده می گردد. این پیچیدگی برای پروژه ها با تعداد فعالیت های کم نیز مورد توجه است.

شبیه سازی به عنوان شاخه ای از برنامه ریزی ریاضی یکی از ابزارهای مهم برای تجزیه و تحلیل سیستم های پیچیده است. از ویژگی های شبیه سازی انعطاف پذیری مدل و بالا بودن دقت در مدل ساخته شده براساس نتایج آماری است. معمولاً از شبیه سازی برای دستیابی به دو هدف عمده زیر استفاده می کنند:

الف - کشف عملکرد سیستم
ب - ارزیابی عملکرد سیستم
لازم به ذکر است که مدلی که در شبیه سازی ساخته می شود، باید از اعتبار مناسبی برخوردار باشد و جواب معقولی را ارائه دهد. اما این مدل ساده و آسان به دست نمی آید. باتوجه به این موارد در این مقاله سعی شده است تا راهگاه های ساخت مدل کلی جهت برنامه ریزی پروژه هایی که از منبع مشترک و محدود استفاده می کنند و فعالیت های پروژه ها باتوجه به تقدم و تأخر آنها دارای زمان های احتمالی از هر توزیع شناخته شده پیوسته و یا گسسته آماری یا تجربی می باشند، ارائه گردد. پس از اطلاع از نحوه ساخت مدل، با استفاده از زبان برنامه نویسی GPSS و مثال عددی، مدلی ساخته و سپس اجرا می شود. با اجرای مدل ساخته شده به دفعات مکرر، نتایج آماری اولیه ای به شرح زیر قابل حصول است:

الف) تابع توزیع زمان تکمیل پروژه ها به تفکیک
ب) تابع توزیع منبع مشترک استفاده شده در پروژه ها

۱ - فرضیات به کار رفته در مدل

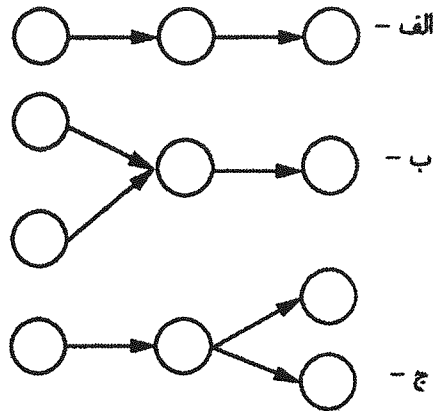
در ساخت مدل تخصیص منابع به چند پروژه فرضیات معقول و متداول به شرح زیر منظور شده است:

- ۱ - شبکه AOA (Activity On Arrow) هر یک از پروژه ها در دسترس است.
- ۲ - تابع توزیع زمان انجام هر یک از فعالیت ها مشخص است.
- ۳ - منبع لازم و مورد استفاده در واحد زمان برای هر یک از فعالیت ها مقداری مشخص و معین است.
- ۴ - منابعی که به اشتراک گذاشته می شوند، قابل تفکیک از یکدیگر بوده و می توان آنها را در اسرع وقت و بدون صرف هزینه در اختیار پروژه ها قرار داد.
- ۵ - میزان استفاده از منبع در طول زمان انجام فعالیت ثابت و بدون تغییر است.

۲ - ساخت مدل

در یک شبکه AOA سه نوع گره موجود است:
الف - گره هایی که یک فعالیت بدان منتهی و یک فعالیت از آن منشعب می شود، ب - گره هایی که چند فعالیت بدان منتهی می گردد و ج - بالاخره گره هایی که چندین فعالیت

از آن منشعب می‌گردند. شکل ۱ انواع گره‌ها را نشان می‌دهد:



شکل (۱) شبکه AOA با انواع گره.

منبع) مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت انجام یک فعالیت با توجه به منبع در دسترس از سه بلوک Enter، Advance، و Leave استفاده شده است. کاربرد متوالی این سه بلوک و عبور تبادلی از این سه بلوک بدین معنی است که منبع کافی برای انجام فعالیت وجود دارد. انجام شدن فعالیت (تأخیر زمانی)، رها کردن کانال و یا به عبارتی آزاد شدن منبع مورد استفاده است. به منظور مشخص شدن زمان بندی فعالیت‌ها لازم است میزان بحرانی بودن فعالیت‌ها در مدل شبیه‌سازی شده مشخص گردد. در دستیابی بدین موضوع با استفاده از بلوک‌های Queue و Depart به ترتیب قبل و بعد از بلوک Enter، اطلاعات جمع‌آوری می‌شود. این اطلاعات از صف احتمالی است که برای استفاده از منبع تشکیل می‌گردد.

۳- اجرای مدل

به طریقی که به آن اشاره شد، مدل ساخته شده یک مجموعه پروژه در حال اجراست. این مدل را می‌توان در هر بار اجرا با تعداد مشخصی از منبع و تعداد مشخصی تبادل (از بین رفتن هر تبادل بیانگر یک بار اجرا شدن مدل یا به عبارتی اجرای همه پروژه‌ها است) به اجرا در آورد و خروجی را به صورت نتایج آماری به دست آمده مورد بررسی، تحلیل و تصمیم‌گیری قرار داد.

۴- خروجی مدل

با اجرای مدل شبیه‌سازی شده مورد بحث، سه نوع خروجی پیش‌بینی شده است:

الف- تابع توزیع زمان انجام پروژه‌ها به تفکیک

هر تبادل از لحظه ایجاد تا لحظه خروج از مدل، زمانی را در مدل صرف می‌کند و این زمان همان زمان تکمیل پروژه‌ها است. همانگونه که قبلاً بدان اشاره شد، این زمان جمع کل تأخیرهای زمانی است که جهت انجام فعالیت‌ها صرف می‌شود و ماهیتی تصادفی دارد. بنابراین این زمان تکمیل پروژه متغیری تصادفی است. چنانچه مدل را در هر بار اجرا برای ۱۳۰ تبادل (پروژه‌ها) با تعداد مشخص از منبع اجرا کنیم و به تعداد ۱۳۰ دفعه زمان تکمیل هر یک از پروژه‌ها را ثبت کنیم، می‌توان با رسم نمودار مربوطه تابع توزیع زمان تکمیل هر یک از پروژه‌ها را به دست آورد.

در مدل شبیه‌سازی شده تبادل یا Transaction، پروژه‌ها می‌باشند. زمان انجام فعالیت‌های این پروژه‌ها را می‌توان تأخیرهایی تلقی کرد که به طور متوالی و یا موازی با یکدیگر در این پروژه به وقوع می‌پیوندند که در نهایت زمان انجام پروژه را ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر مدت زمانی که این تبادل در مدل به سر می‌برد را می‌توان به عنوان زمان انجام پروژه در نظر گرفت. برای ایجاد شرایطی که چندین پروژه در حال اجرا باشد، لازم است تا تبادل جاری به دو تبادل تقسیم گردد و هر دو همزمان در مدل جاری گردند، به طوری که هر یک نقش یک پروژه را ایفا کند. با استفاده از بلوک Split این شرایط ایجاد می‌شود. این عمل در گره‌هایی که محل انشعاب چند فعالیت می‌باشد ضروری است. شرایط تقدم و تأخر در فعالیت‌ها به گونه‌ای است که فعالیت خاصی نمی‌تواند شروع شود، مگر آنکه چندین فعالیت خاتمه یابند. استفاده از بلوک Assemble باعث می‌شود تا تبادل‌های جاری در مدل در نقطه معینی تا به حد مشخص شده‌ای نرسند و یکی نگردد، ادامه حرکت تبادل در مدل امکان‌پذیر نباشد.

در مدل ساخته شده منبع محدود را می‌توان کانال‌هایی برای سرویس‌دهی فرض کرد (همانند یک صف چند کاناله) به طوری که با دسترسی به تعدادی کانال‌های خالی شرایط انجام فعالیت فراهم می‌گردد. در صورتی که کانال‌ها پرباشند، انجام فعالیت تا خالی شدن تعدادی از کانال‌ها به تأخیر می‌افتد. بلوک Storage برای تعریف و مشخص کردن تعداد کانال‌ها (محدودیت

جدول (۱) مشخصات پروژه‌ها.

پروژه	فعالیت	زمان	منبع
A	۱-۲	۴ ± ۱	۵
A	۱-۳	۳ ± ۲	۲
A	۲-۳	۳ ± ۱	۰
B	۴-۵	۳ ± ۲	۱
B	۵-۶	۲ ± ۱	۲
B	۴-۶	۲ ± ۱	۲
C	۷-۸	۲ ± ۱	۱
C	۷-۹	۵ ± ۳	۲

مدل شبیه‌سازی شده به صورت زیر است:

```

SIMULATE
1 TABLE MP2, 1, 2, 10
2 TABLE MP2, 1, 2, 10
3 TABLE MP2, 1, 2, 10
5 TABLE S $ MEN, 1, 1, W 12
GENERATE 15
GATE LR NITR
LOGIC S NITR
SAVEVALUE 1, 0
MARK 2
SPLIT 1, PRJ2
PRJ1 SPLIT 1, ACT12
ACT12 QUEUE 12
ENTER MEN, 5
DEPART 12
ADVANCE 4, 1
LEAVE MEN, 5
ADVANCE 3, 1
NODE3 ASSEMBLE 2
SAVEVALUE 1+, 1
TABULATE 1
FIN TEST E X1, 3
LOGIC R NITR
SAVEVALUE 1, 0
TERMINATE 1

ACT13 QUEUE 13
ENTER MEN, 2
DEPART 13
ADVANCE 3, 2
LEAVE MEN, 2
TRANSFER , NODE3
PRJ2 SPLIT 1, PRJ3
SPLIT 1, ACT46
ACT45 QUEUE 45
ENTER MEN, 1
DEPART 45
ADVANCE 3, 2
LEAVE MEN, 1
ACT56 QUEUE 56
ENTER MEN, 2
DEPART 56
ADVANCE 2, 1
LEAVE MEN, 2
    
```

ب- تابع توزیع میزان منبع مصرفی

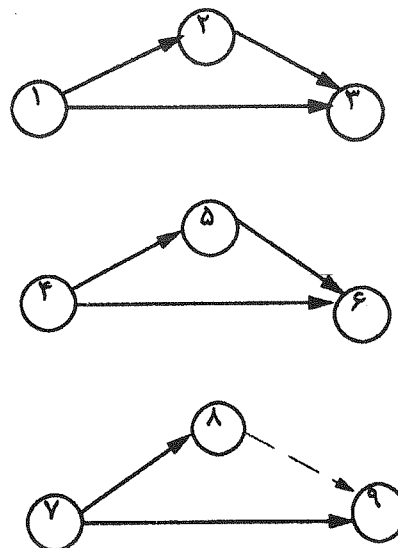
زمان انجام هر فعالیت متغیری تصادفی است. بنابراین این منبع استفاده شده برای انجام این فعالیت هم متغیری تصادفی است. برای آن که بتوان درصد اوقاتی را که منبع مورد استفاده قرار می‌گیرد به دست آورد، شرایطی در مدل فراهم شده است تا در زمان‌های مختلف در حین جاری بودن تبادل در مدل (فعالیت‌ها برنامه‌ریزی می‌گردند) منبع مصرفی را در آن زمان ثبت نمود و در خروجی نمودار مربوطه و تابع توزیع بار مصرفی را مشخص کرد. قابل ذکر است که خروجی‌های دیگری از قبیل زمان شروع و خاتمه هر یک از فعالیت‌ها جهت زمان بندی و برنامه‌ریزی را می‌توان در مدل ایجاد کرد.

ج- میانگین زمان انتظار برای استفاده از منبع یا درجه بحرانی بودن فعالیت

باتوجه به آنچه که در ساخت مدل بدان اشاره شد، اطلاعات جمع‌آوری شده از زمان در دسترس بودن منبع منجر به محاسبه میانگین زمان انتظار یا درجه بحرانی بودن فعالیت می‌شود که می‌توان آن را در زمان بندی فعالیت‌ها مورد استفاده قرار داد.

د- مثال عددی

فرض کنید سه پروژه A، B و C در دسترس است. این پروژه‌ها به ترتیب ۲، ۳ و ۲ فعالیت دارند. شبکه هر پروژه در شکل ۲ داده شده است. مشخصات هر پروژه نیز در جدول ۱ آورده شده است.



شکل (۲) شبکه هر یک از پروژه‌های A، B و C.

۶- نتیجه گیری

نظر به اینکه مثال استاندارد برای مسئله مورد بحث در مقالات وجود نداشت، لذا از مثال های مختلف با اندازه های متفاوت مدل های شبیه سازی تهیه گردید. مثال عددی مورد بحث یکی از این مثال ها است.

شبیه سازی مثال مورد بحث توسط کامپیوتر IBM 4341 در چهار سطح از منبع و در هر سطح به تعداد ۱۲۰ دفعه انجام گرفته است. کل زمان شبیه سازی ۱/۱۴ دقیقه بوده است، خلاصه نتایج به دست آمده در جدول ۲ مشخص شده است.

همانگونه که جدول فوق نشان می دهد، در سطح منبع ۵ با اشتغال ۸۵ درصد زمان تکمیل پروژه ها به ترتیب ۸، ۱۰ و ۱۲ واحد زمان است و کلیه پروژه ها به طور همزمان در طی ۱۲ روز قابل اجرا می باشند.

میانگین زمان انتظار هر یک از فعالیت های این سه پروژه در جدول ۳ مشخص شده است. به این ترتیب با مشخص شدن درجه بحرانی بودن فعالیت ها زمان بندی فعالیت ها را می توان انجام داد.

```

NODE6 ASSEMBLE 2
      SAVEVALUE 1 + , 1
      TABULATE 2
      TRANSFER , FIN
ACT46 QUEUE 46
      ENTER MEN , 2
      DEPART 46
      ADVANCE 2 , 1
      LEAVE MEN , 2
      TRANSFER , NODE6
PRJ3 SPLIT 1 , ACT79
ACT78 QUEUE 78
      ENTER MEN , 1
      DEPART 78
      ADVANCE 2 , 1
      LEAVE MEN , 1
NODE9 ASSEMBLE 2
      SAVEVALUE 1 + , 1
      TABULATE 3
      TRANSFER , FIN
ACT79 QUEUE 79
      ENTER MEN , 2
      ADVANCE 5 , 3
      DEPART 79
      LEAVE MEN , 2
      TRANSFER , NODE9
      GENERATE , , 1 , 1 , , F
ABC MARK 1
      TEST NE MPI , 0
      TABULATE 5 , MPI
      TRANSFER , ABC
      CLEAR
      STORAGE S $ MEN , 8
      START 130

      CLEAR
      STORAGE S $ MEN , 7
      START 130

      CLEAR
      STORAGE S $ MEN , 6
      START 130

      CLEAR
      STORAGE S $ MEN , 5
      START 130

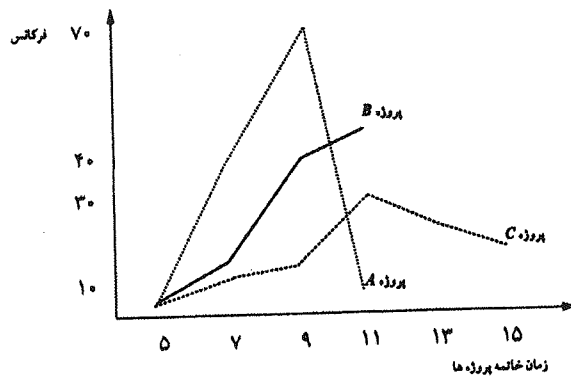
      END
    
```

جدول (۲) خروجی مدل شبیه سازی شده

۵	۶	۷	۸	محدودیت سطح منبع
۲/۲۵۶	۲/۲۷۲	۲/۲۳۹	۲/۲۷	میانگین منبع مصرف شده
۱/۸۴۲	۲/۶۲۸	۲/۹۲۹	۲/۲۹	انحراف استاندارد مصرف
۷/۹۳۸	۷/۷۹۲	۷/۶۳	۷/۰۵۳	میانگین زمان تکمیل پروژه A
۱/۲۱۴	۱/۲۴۶	۱/۲۳	۱/۰۲۷	انحراف استاندارد زمان تکمیل پروژه A
۱۰/۰۳	۷/۹۶۱	۷/۰۳۸	۶/۴۲	میانگین زمان تکمیل پروژه B
۱/۵۷۴	۱/۳۰۴	۱/۱۶۴	۱/۰۸۲	انحراف استاندارد زمان تکمیل پروژه B
۱۲/۱۴۶	۹/۸۱۵	۹/۰۴۶	۹/۰۹۲	میانگین زمان تکمیل پروژه C
۲/۳۲۸	۲/۱۷۹	۲/۴۳۷	۲/۰۰	انحراف استاندارد زمان تکمیل پروژه C
۰/۸۵۱	۰/۶۴۵	۰/۵۶۲	۰/۴۰۸	میانگین درصد زمان اشتغال منبع

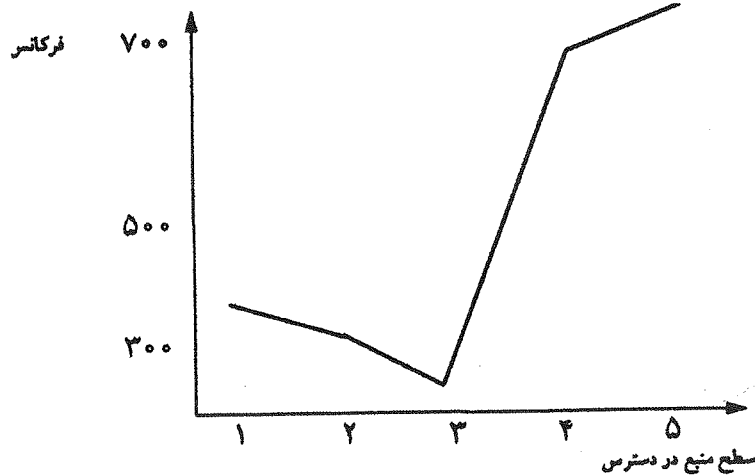
جدول (۳) درجه بحرانی بودن فعالیت‌ها.

فعالیت	زمان انتظار
۱-۲	۰
۲-۳	۰
۱-۳	۴
۴-۵	۴
۴-۶	۵
۵-۶	۱
۷-۸	۴
۷-۹	۶



شکل (۳) توزیع زمان خاتمه هر یک از پروژه.

شکل ۳ نمودار توزیع زمان تکمیل پروژه‌ها به تفکیک و شکل ۴ توزیع منابع مصرفی در سطح منبع ۵ را نشان می‌دهد.



شکل (۴) توزیع منبع.

مراجع

- [1] Moder, J. J., Philips, C.R., and Davis, E. W., Project management with CPM, PERT and precedence diagramming, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1983.
- [2] Demeulemeester, E., and Herroelen, W., An efficient optimal solution procedure for resource constrained project scheduling problem, European Journal of Operational Research, 90, 334-348, 1996.
- [3] Oguz, O., Bala, H. A., Comparative study of computational procedures for the resource constrained project scheduling problem, European Journal of Operational Research, 72, 406-416, 1994.
- [4] Deckero, R., Winkofsky, E. P., Herbert, J., and Ganon, R., A decomposition approach to multi-project scheduling, European Journal of Operational Research, 51, 110-118, 1991.
- [5] Willis, R. J., and Li, K. Y., An iterative scheduling technique for resource constrained project scheduling, European Journal of Operational Research, 56, 370-379, 1992.