Miskolci Egyetem
Gépészmérnöki és Informatikai Kar
Informatikai Intézet
Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék

DTFSZTIR

Diszkrét termelési folyamatok számítógépes tervezése és irányítása

2019/20 2. félév

10. Előadás

Dr. Kulcsár Gyula
egyetemi docens

EFFS Production Scheduler
termelésprogramozó szoftver

ÜTEMEZÉSI MODELLEK ÉS MÓDSZEREK
AZ IGÉNY SZERINTI RUGALMAS GYÁRTÁS
FINOMPROGRAMOZÁSÁNAK TÁMOGATÁSÁRA

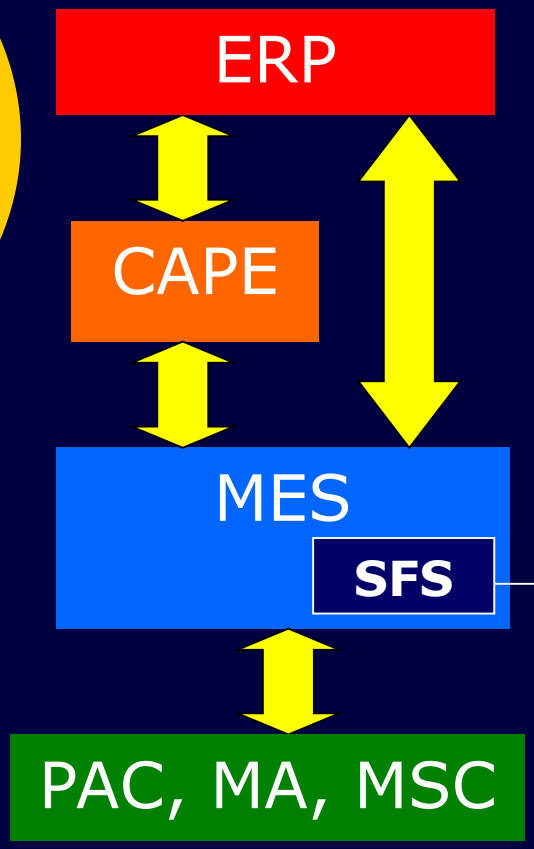
Esettanulmány:
Lámpagyártó gépsorok termelésprogramozása

Tartalom

- Ismétlés:
  - Prediktív ütemezés
- A probléma bemutatása
- A kitűzott kutatási célok
- EFFS modell
- Megoldási módszerek
  - Felépítő algoritmusok
  - Többcélú kereső algoritmus

Modell alapú prediktív ütemezés

Alkalmazási példa: termelésprogramozás



SFS: Shop Floor Scheduling

Rövid távú, műhelyszintű ütemezés

Bemenet:

- Belső rendelések
- Termék adatok
- Technológiai adatok
- Erőforrás adatok
- Anyag és komponens adatok
- Ütemezési célok

Kimenet:

- Termelési finomprogram
  - Munkák és erőforrások összerendelése
  - Tervezett tevékenységek
  - Tervezett időadatok

Ütemezési feladatok változatossága

- Ütemezési feladatok osztályozása (részletek a korábbi előadásokon: $\alpha|\beta|\gamma$)
- Egy job (munka) rendszerint több ***végrehajtási alternatívával*** rendelkezik:
  - alternatív technológiák
  - műveleti (operáció) sorrendi változatok
  - alternatív erőforrások (pl. gépek)
  - műveleti idő (technológiai intenzitás) értékek.
- Az ütemezés eredményét ***teljesítmény mutató***k (Key Performance Index, KPI) minősítik.

Kereső algoritmusra alapozott prediktív ütemezés

- Adott gyártórendszer prediktív ütemezése (pl: FMS statikus ütemezése) során az ütemező rendszer ***ütemezési modell*** alapján hatékony keresési algoritmus és szimulációs kiértékelés kombinált alkalmazásával készíti el a munkák operációnak végrehajtási finomprogramját.

- Eredmény:
  éles/ajánlati termelési finomprogram.

EFFS termelésütemezési modell

Esettanulmány:
Lámpagyártó gépsorok termelésprogramozása

Háttér: VITAL projekt

VITAL „Valós idejű, kooperatív vállalatok” projekt

Prof. Dr. Monostori László (NKTH 2/010/2004)

SZTAKI, GE és beszállítói, BME, ME

- Erőforrás-menedzsment és ütemezés a vállalatok szintjén
  - Termeléstervező, gyártásütemező, erőforrás kezelő alkalmazások fejlesztése MES szinten
- Valósidejű termelésirányítás változások és zavarok kezelésére
  - Gyártásirányító, termeléskövető, zavarkezelő valósidejű alkalmazások fejlesztése MES szinten
- Elosztott, kooperatív termelési és logisztikai rendszerek
  - Kooperatív beszállítói, készletgazdálkodási, logisztikai alkalmazások fejlesztése SCM

Kitűzött (PhD) kutatási célok

- Kiterjesztett, az igény szerinti tömeggyártás modelljét is magába foglaló modell kifejlesztése a gyártási feladatok és sorozatnagyságok meghatározásának, a gépek allokálásának és a munkák időbeli ütemezésének céljából.
- Olyan megoldási módszerek kifejlesztése, amelyek a termelés változó feltételeihez és igényeihez igazodva egy vagy több értelemben optimum-közeli, végrehajtható termelési finomprogramot állítanak elő a gyakorlatban elfogadhatónak számító tervezési időkorlátok betartásával.
- A MES dinamikus gyártásirányítási funkcióinak, különösen a termelési bizonytalanságok kezelésének támogatása, figyelembe véve a termelési folyamatok minősítésének, a korrekciós újraütemezésnek, a termelési célok, prioritások és bizonytalanságok menedzselésének igényeit is.

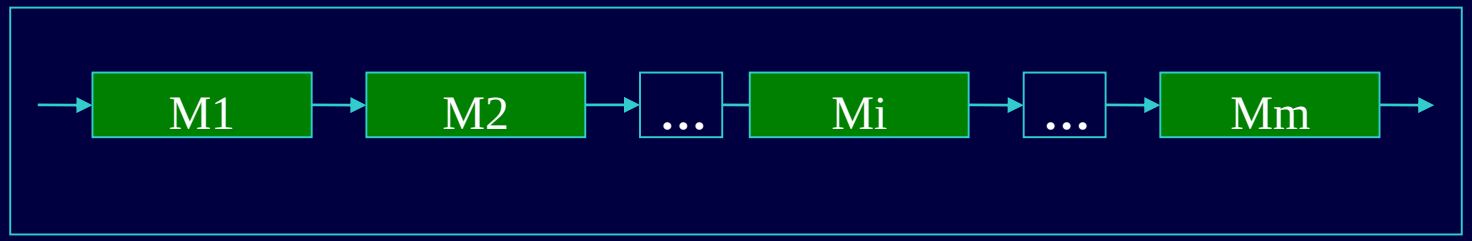
Alkalmazott módszerek

- Felhasznált elvek, modellek és módszerek:
  - termelésinformatika
  - diszkrét matematika
  - operációkutatás
  - ütemezéselmélet
  - mesterséges intelligencia
  - információ technológia

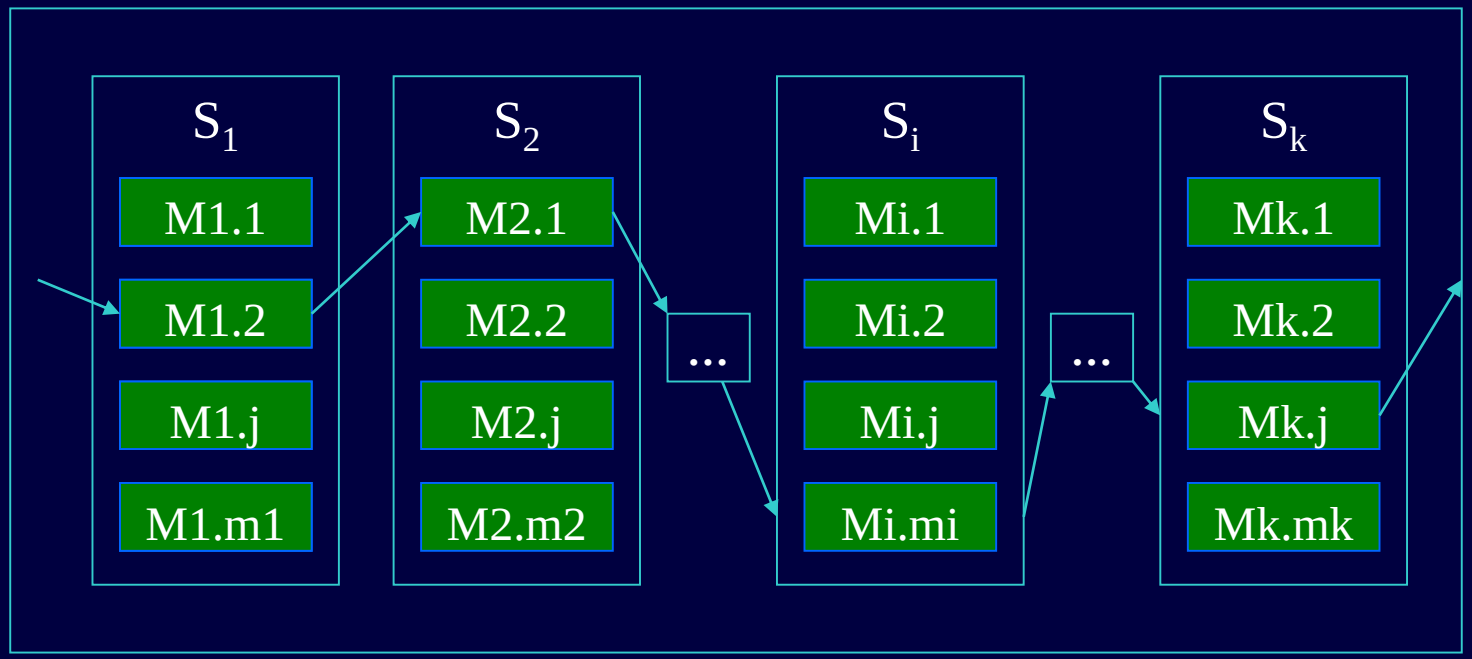
  témakörökből
- Fejlesztési metodika:
  - ismeretek összegyűjtése és szintetizálása
  - probléma, részprobléma megfogalmazása
  - matematikai és informatikai modellezés
  - megoldási koncepció kidolgozása
  - tervezés és implementálás
  - tesztelés és értékelés
  - a követelményrendszer és a célok pontosítása

Ismert Flow Shop modellek

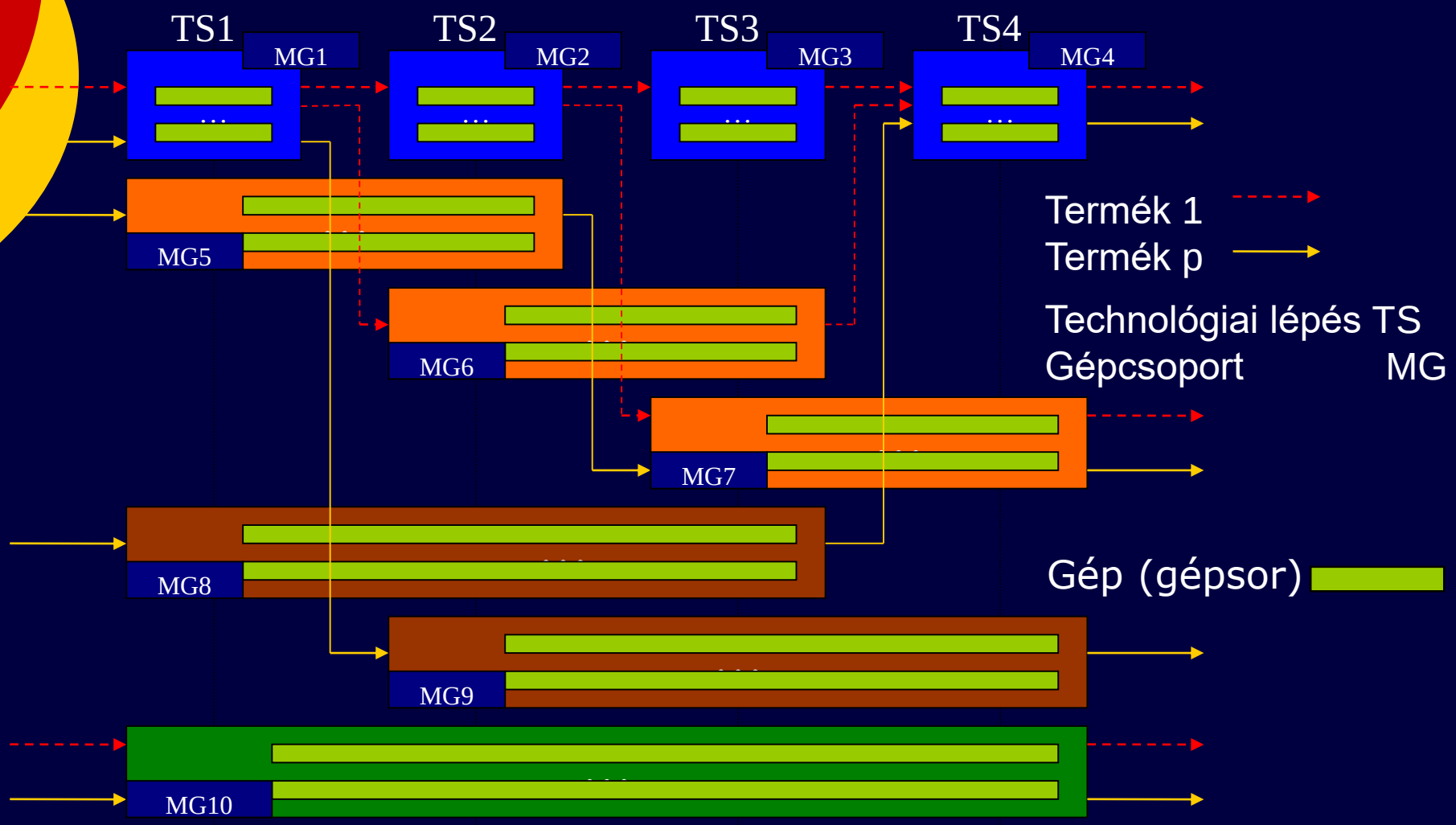
Flow Shop – egyutas modell



Rugalmas Flow Shop – párhuzamos kapacitások modell



Kiterjesztett rugalmas Flow Shop modell
(Extended Flexible Flow Shop – EFFS)



Gyártási folyamat azonosítók

	Technológiai lépések			
Kezdő – befejező	TS1	TS2	TS3	TS4
TS1 – TS1	EXE 1			
TS2 – TS2		EXE 2		
TS3 – TS3			EXE 3	
TS4 – TS4				EXE 4
TS1 – TS2	EXE 5			
TS2 – TS3		EXE 6		
TS3 – TS4			EXE 7	
TS1 – TS3	EXE 8			
TS2 – TS4		EXE 9		
TS1 – TS4	EXE 10			

Végrehajtási lépések

	Technológiai lépések			
Gépcsoportok	TS1	TS2	TS3	TS4
MG1	ES1.1			
MG2		ES1.2		
MG3			ES1.3	
MG4				ES1.4
MG5	ES2.1			
MG6		ES2.2		
MG7			ES2.3	
MG8	ES3.1			
MG9		ES3.2		
MG10	ES4.1			

Végrehajtási útvonalak

		Gépcsoportok			
		TS1	TS2	TS3	TS4
EXE10	R1	MG1	MG2	MG3	MG4
	R2	MG1	MG2	MG7	
	R3	MG1	MG6		MG4
	R4	MG1	MG9		
	R5	MG5		MG3	MG4
	R6	MG5		MG7	
	R7	MG8			MG4
	R8	MG10			

Végrehajtási útvonalak

		Gépcsoportok			
		TS1	TS2	TS3	TS4
EXE8	R9	MG1	MG2	MG3	
	R10	MG1	MG6		
	R11	MG5		MG3	
	R12	MG8			
EXE9	R13		MG2	MG3	MG4
	R14		MG2	MG7	
	R15		MG6		MG4
	R16		MG9		

		Gépcsoportok			
		TS1	TS2	TS3	TS4
EXE5	R17	MG1	MG2		
	R18	MG5			
EXE6	R19		MG2	MG3	
	R20		MG6		
EXE7	R21			MG3	MG4
	R22			MG7	
EXE1	R23	MG1			
EXE2	R24		MG2		
EXE3	R25			MG3	
EXE4	R26				MG4

Az ütemezési feladat formális leírása

$\alpha|\beta|\gamma$ formalizmus:

- α erőforráskörnyezet
- β korlátozások, végrehajtási jellemzők
- γ célfüggvények

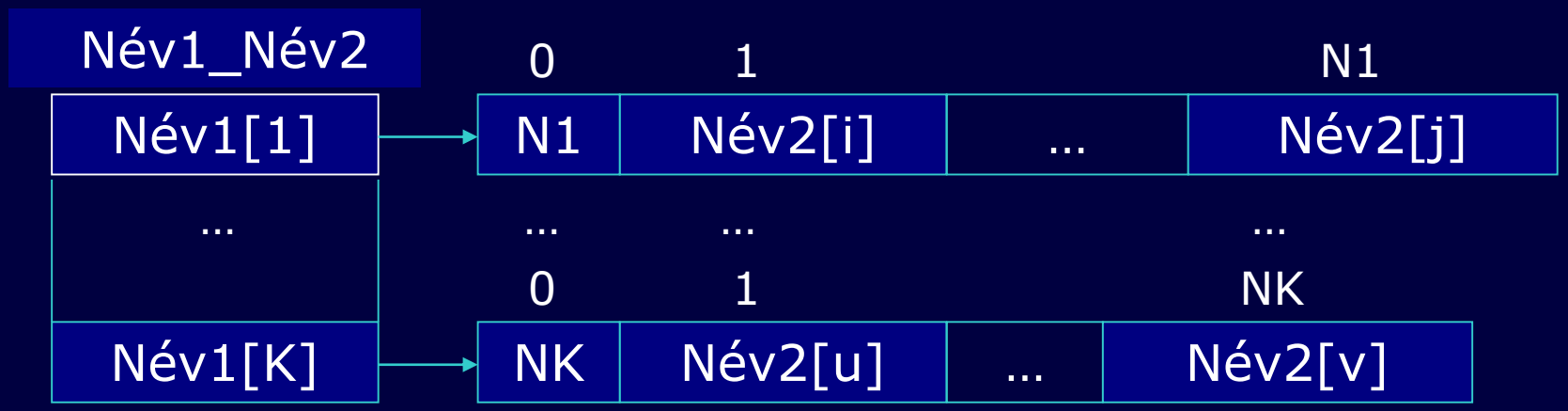
Kiterjesztett rugalmas Flow Shop (EFFS) ütemezési feladatosztály:

$$Fx, M_g, Q_{i,m}, Set_{i,j,m}, Cal_m \left| R_i, D_i, Exe_i, A_i \right| [f_1, f_2, \ldots, f_K]$$

Számítógépi reprezentáció

- Objektum orientált modell
- Legfontosabb osztályok:

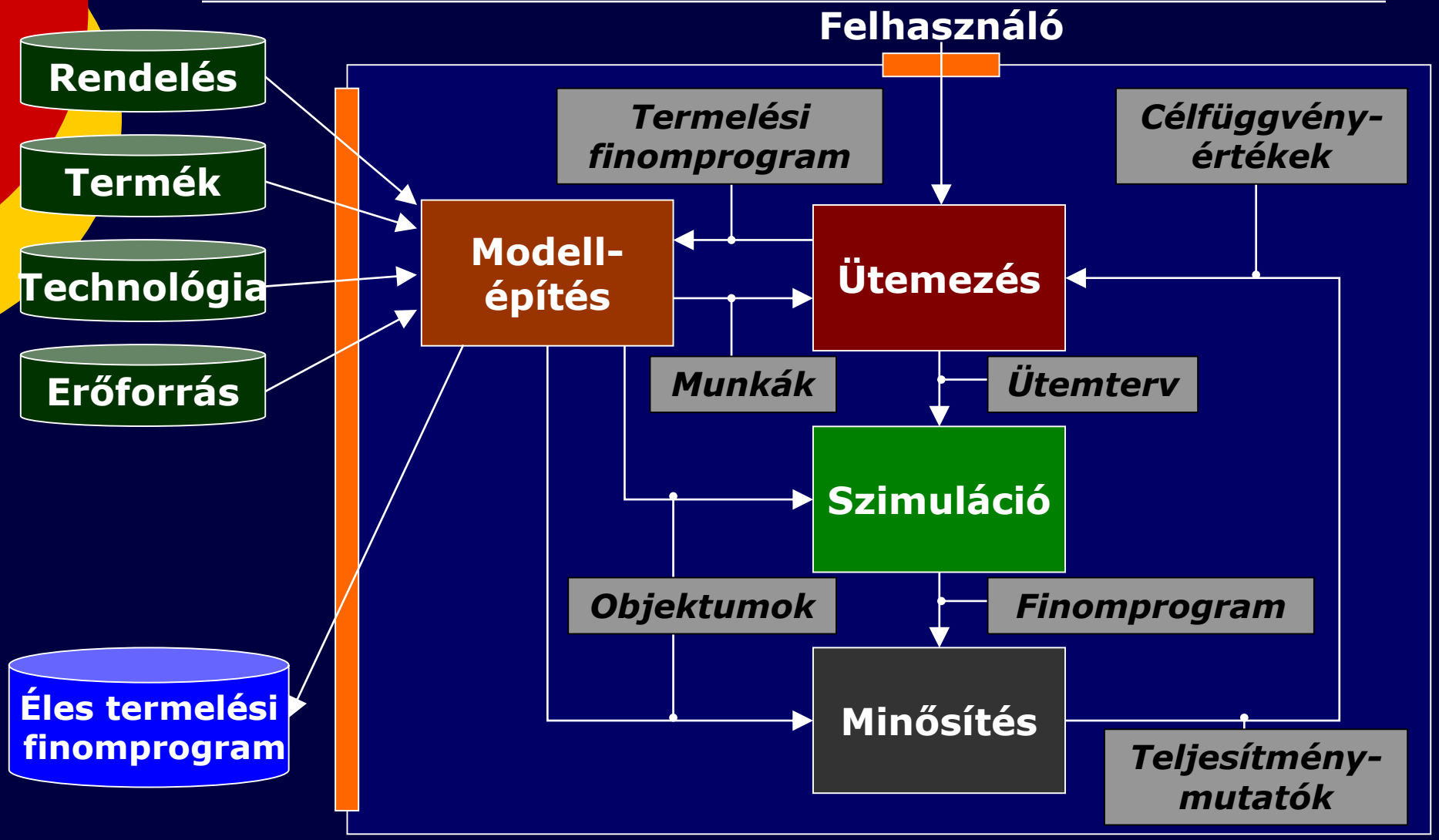
  Termék, Rendelés, Munka, Feladat, Gép, Gépcsoport, Végrehajtási lépés, Útvonal, Termelési finomprogram, Gyártórendszer …
- Indexelt kapcsolatrendszer:



Név1_Név2[Index1][Index2]

Index1 = (1,…, K), Index2 = (0,…, Név1_Név2[Index1][0])

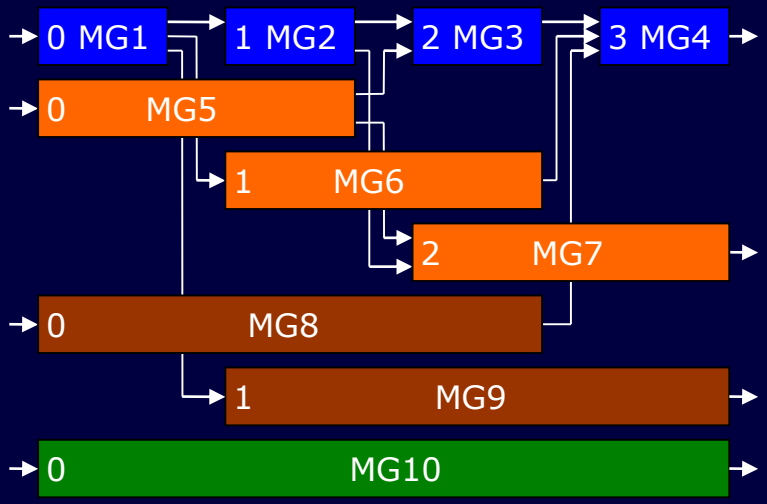
Megoldási koncepció

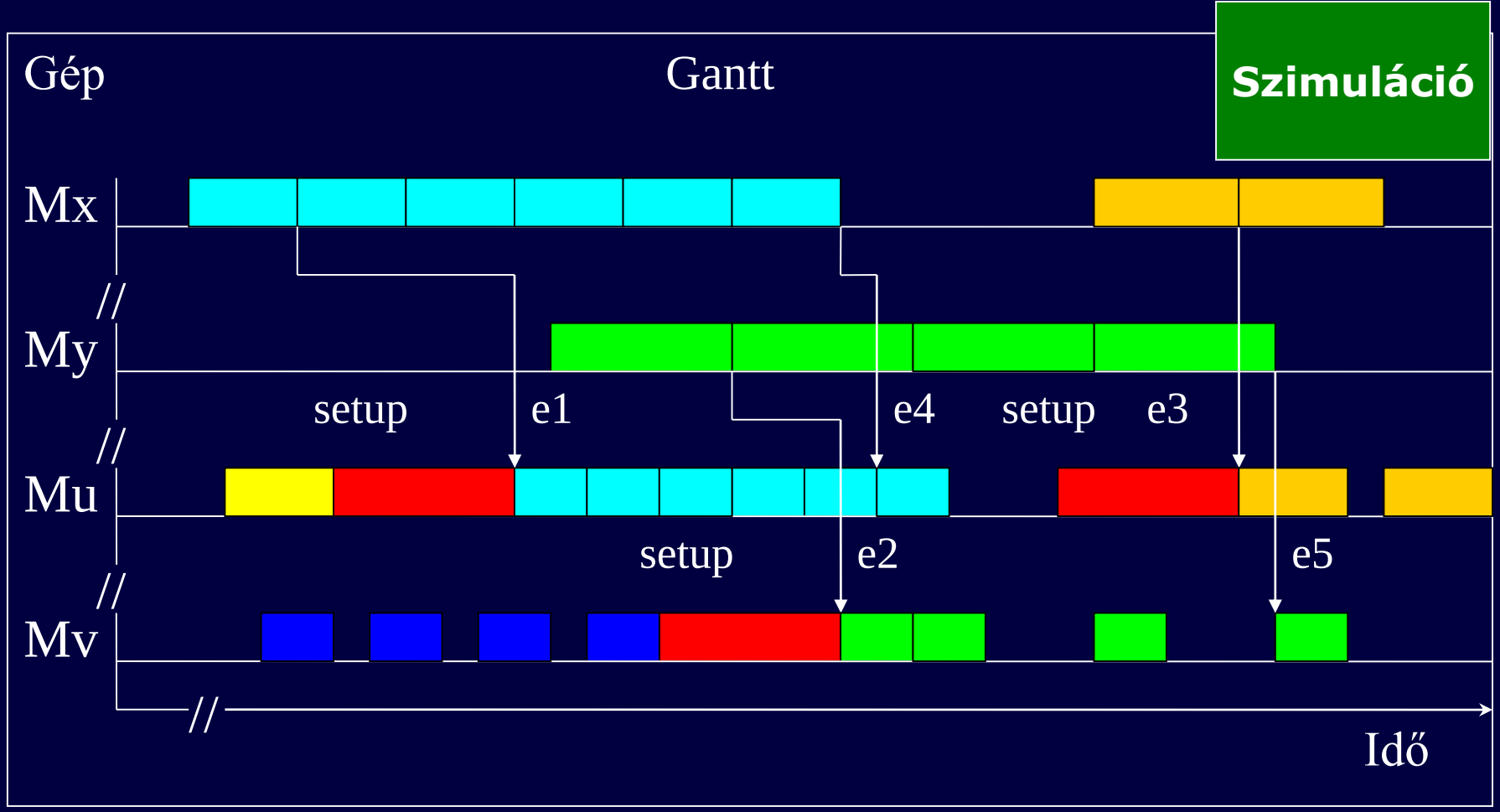


Szimuláció

Szimuláció

- Szabályalapú számítási eljárás jól definiált ütemterv adott gyártási környezetben történő végrehajtásának gyors szimulációjára.
- Időadatok számítása:
  - Gyártási feladatok:
    - Előkészítési idő
    - Műveleti idő
    - ***Kezdési időpont***
    - Befejezési időpont
  - Munka:
    - Indítási időpont
    - Befejezési időpont
  - Rendelés:
    - Indítási időpont
    - Befejezési időpont





Az m gépen az i munka kezdési időpontját befolyásoló tényezők:

- *a legkorábbi kezdési időpontja az i munkának*
- *a befejezési időpontja az i munkának az előző gépen*
- a befejezési időpontja az előző munkának az *m* gépen
- *az i munkához tartozó átállási idő az m gépen*
- *az m gép felszabadulásának időpontja a korábbi terhelése alól*
- *az m gépnek a rendelkezésre állási időintervallumai*

Ütemezés

- Integrált, általános célú ütemezési módszer a hozzárendelési és a sorrendi problémák megoldására, amely minden egyes munkához:
  - hozzárendel egy megfelelő útvonalat,
  - hozzárendel egy megfelelő gépet a kiválasztott útvonal minden egyes végrehajtási lépésének megfelelő gépcsoportból,
  - meghatározza minden hozzárendelt gépen a végrehajtási sorban elfoglalt pozícióját.
- Kétfázisú heurisztikus megoldási módszer:
  - Heurisztikus felépítő algoritmus-változatok
  - Heurisztikus Tabu kereső algoritmus

Heurisztikus felépítő algoritmusok

- Viszonylag jó kezdeti megoldás gyors előállítása.
- ***BWBA*** algoritmus:

  Cél: a termelési jellemzők egyensúlyban tartása

  Lépések:
  - Rendelések csoportosítása és rendezése az EXE típusok alapján növekvő sorrendbe.
  - Minden megrendelés egy egységként (bontás nélkül) kerül beütemezésre:
    - a legnagyobb integráltsági fokkal jellemezhető útvonal hozzárendelésével,
    - az érintett gépcsoportokból egyenletes valószínűséggel választott gépek alkalmazásával,
    - a gépeken a munkák sorrendjét a beütemezés sorrendje határozza meg.
- További algoritmusok: ***HEFCA, HIA, EHIA***

Heurisztikus Tabu kereső algoritmus

```
s* = s0 = kezdeti megoldás készítése ( ); tabulista = üres;
while ( leállási feltétel nem teljesül() )
{ while ( kiterjesztés feltétele teljesül() )
    {  s = szomszédos megoldás készítése( s0 );
       if (  nem eleme a tabulistának( s ) )
        {
           felvétel a tabulista elejére( s );
           if ( tabulista elemszáma > megengedett elemszám )
                tabulista utolsó elemének törlése( );
           if ( kiterjesztés első megoldása ( s ) ) sk = s;
           else if ( jobb megoldás ( s, sk) ) sk = s;
        }
    }
    s0 = sk;
    if ( jobb megoldás ( sk, s* ) )  s* = sk;
 }
 return s*;
```

A keresési módszer sajátosságai

- Tabulista
  - Speciális formában *megoldásokat* tárol.
  - Szisztematikus különbségvizsgálatra alapozott gyors ellenőrzést valósít meg.
- Szomszédság kezelése
  - Többféle szomszédsági operátor alkalmazása.
  - A szomszédsági operátorok csak megengedett megoldásokat állítanak elő, nincs szükség konzisztencia-vizsgálatra.
  - A módosító operátorok rugalmasak, nem függnek a célfüggvényektől.
  - Prioritásértékekkel szabályozható a szomszédsági operátorok használata.

Termelési folyamat minősítése teljesítmény (KPI) mutatók

Minősítés

- Erőforrás mutatók
- Készletszint mutatók
- *Szállítókészség mutatók*

Munka *(i=1,…,n)*

d_i : határidő

R_i : indítási időpont

C_i : befejezési időpont

v_i : súlyozó tényezők

Késés: $L_i = C_i - d_{di}$

Csúszás: $T_i = \max(0, L_i)$

Átfutási idő: $FT_i = C_i - R_i$

$\}\ G_i$

- Speciális mutatók

γ : célfüggvény

$$\gamma = \max_i(C_i)$$

$$\gamma = \max_i(C_i) - \min_i(R_i)$$

$$\gamma = \sum_i v_i G_i$$

$$\gamma = \max_i(v_i G_i)$$

$$\gamma = \frac{\sum_i v_i G_i}{n}$$

$$\gamma = |\{i | T_i > 0\}|$$

Többcélú optimalizálás

Minősítés

- Döntési változók
- Korlátozások, feltételek
- Célfüggvények $f_k : S \to \Re^+ \cup \{0\}$

$$f_k(s) \to min$$

$$s \in S, \forall k \in \{1,2,...,K\}$$

s egy megengedett megoldás

S a megengedett megoldások halmaza

f_k egy célfüggvény, K a célfüggvények száma

Megoldás változatok értékelésének matematikai modellje

Új megközelítés: relatív minősítés

$$s_x, s_y \in S \qquad a, b \in \Re$$

$$D : \Re^2 \to \Re \qquad D(a,b) = \begin{cases} 0, \text{ ha } max(a,b) = 0 \\ \dfrac{b-a}{max(a,b)}, \text{ egyébként} \end{cases}$$

$$w_k \in \Re \qquad w_k \geq 0 \qquad \forall k \in \{1,2,\ldots,K\}$$

$$F : S^2 \to \Re \qquad F(s_x, s_y) = \sum_{k=1}^{K} (w_k \cdot D(f_k(s_x), f_k(s_y)))$$

Megoldások minősítése többcélú kereső eljárásokban

Minősítés

Az $F(s_x, s_y)$ előjeles függvényérték kifejezi az s_y megoldás s_x megoldáshoz viszonyított relatív minőségét.

$$\left(s_y \; ? \; s_x\right) := \left(F(s_x, s_y) \; ? \; 0\right)$$

s_y jobb megoldás mint s_x	ha	$F(s_x, s_y) < 0$
s_y és s_x azonosan jó megoldások	ha	$F(s_x, s_y) = 0$
s_y rosszabb megoldás mint s_x	ha	$F(s_x, s_y) > 0$

Egycélú keresés ➡ Többcélú keresés

- Tabu keresés (TS), Szimulált hűtés (SA),
- Genetikus algoritmus (GA) …

Futási eredmények

Gép: 119 Rendelés: 393 Munka: 2173 Beállításstípusok: 4

Lépés: 2000 Kit.: 100 minKit.: 10 Javulás: 40 TABU:150
Nx_op_pri: N1: 1 N2: 1 N3: 1 N4: 1 N5: 1

ObjF:	LOrder	LJob	sumT	maxT	Set	maxC
ObjPri:	7	8	10	10	7	5
Avp(10it):						
rand:	277,5	992,1	1,30E+06	4241,1	1779,6	4685,2
heur:	109,2	430,7	118618	1275,3	964	1725
search:	2,1	3,2	48	21,3	248,7	1034,7

Átlagos programfutási idő: 2 min 55s
(2007-es adat, CPU: Intel Pentium 4)

Futási eredmények

	LOrder	LJob	sumT	maxT	Set	maxC
s_1:	2	3	33	14	243	998
s_2:	2	3	46	22	234	1068
s_3:	2	3	46	22	250	1035
s_4:	2	3	46	22	265	1032
s_5:	***2***	***3***	***33***	***14***	***228***	***1031***
s_6:	2	3	46	22	228	995
s_7:	2	3	46	22	237	1055
s_8:	2	3	46	22	244	1058
s_9:	3	5	92	31	304	1014
s_10:	2	3	46	22	254	1061

Összefoglalás

- Ismétlés:
  - Prediktív ütemezés
- A probléma bemutatása
- A kitűzott kutatási célok
- EFFS modell
- Megoldási módszerek
  - Felépítő algoritmusok
  - Többcélú kereső algoritmus

Köszönöm a figyelmet!

Az előadásvázlat elérhető az alábbi webcímen:
http://ait.iit.uni-miskolc.hu/~kulcsar/serv01.htm