



Е.З. Нұғман¹, М.Қ. Сағынтай¹, А.Қ. Мұстафа¹

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Алматы, Қазақстан
(E-mail: e.nugman@satbayev.university)

3D Принтер – қару бөлшектерін ең қысқа мерзімге өндіруді жоспарлау

Бұл зерттеуде параллель машиналық жоспарлау арқылы 3D принтері көмегімен қару бөлшектерінің өндірісін оңтайландырудың математикалық моделін ұсынылады. Жаумен шайқас аяқталғаннан кейін көптеген қару-жарақтар зақымданады. Зақымданған қару толық, орташа немесе болмашы зақымданғандар санатына жатқызылады. Олардың ішінде болмашызақымданған қарудың бүлінген немесе жоғалған бөлігін жай ауыстыру арқылы жөнделгеннен кейін бірден қайтадан пайдалануы мүмкін. Алайда ұрыс алаңындағы әскерлердің үнемі орындарын ауыстырып жүруіне байланысты мыңдаған қару бөлшектерін алып жүру іс жүзінде мүмкін емес. Осы жағдайды жақсарту үшін 3D-принтерді белгілі бір блокта алып жүруге және де болмашы зақымданған қаруды жөндеу үшін дала жағдайында қажетті бөлшектер жасап шығаруға болады. Бұл мақсат бойынша әр шайқас аяқталғаннан кейін қысқа мерзімде қажетті бөлшектерді шығаруды жоспарлау моделін ұсынылады. Бірнеше 3D принтерлер жиынтығы параллельді машина ретінде жұмыс жасай алады және әр түрлі бөлшектер шығара алады. 3D принтерлер бір уақытта әр бөлік үшін дайын өнімді шығара алады немесе әр бөлік үшін жеке екі қосалқы бөлік шығара алады, бірақ егер олар жеке қосалқы бөліктер жасаса, ол құрастыруға арналған қосымша бекіту өндірісіне байланысты сол бөлік үшін жұмыс жүктемесін арттырады. Яғни, дайын өнімді бірден өндірген жағдаймен салыстырғанда қосалқы бөліктерді жеке-жеке дайындау жағдайында осы бөлік бойынша өндірістің жалпы уақыты одан да ұзақ болады. Соған қарамастан, бұл зерттеу қару бөлшектерін дайындаудың субпартиялық тұжырымдамасын енгізу арқылы 3D принтердің өндірістік кестесін жоспарлағанда өндіріс уақытын қысқартуға болатынын растайды.

Кілт сөздер: Параллель машиналық жоспарлау, соғыс уақытында қару бөлшектерін өндіру, 3D-баспалау, субпартиялық өндіріс, зерттеу.

Кіріспе

Көптеген соғыс тарихынан ұрыс кезінде қаншама қару-жарақ бөлшектері қирағаны немесе жоғалғаны белгілі [1]. Бұл қару бөлшектерінің бір бөлігі қару-жарақты пайдалану үшін қажет емес, бірақ кейбіреулері болуы керек. Егер қаруды қалыпты пайдалану үшін болуға тиісті бөлігі зақымданса немесе жоғалса, онда барлық басқа бөліктер қалыпты болса да, қару мүлдем жұмыс істей алмайды. Бұл бөлшек қарудың сыни бөлігі деп аталады. Атап айтқанда,



бұл зерттеуде қарулар ішінде ату қаруына баса назар аударылған. Ату қаруы - әскери қызметте жиі қолданылатын қару. Сондай-ақ, олардың компоненттері аз және соңғы жылдардағы ең озық қару-жарақ жүйесімен салыстырғанда күрделілігі аз. Сондықтан ату қаруы жағдайында олардың қалыпты функцияларын орындау үшін 3D принтерлер шығаратын бөлшектерді пайдалануға болады. Атыс қаруының түрлері көп, бірақ бұл жұмыстамылтық қаруы негізге алынған. Мылтықтың критикал бөліктеріне триггер, зарядтау тұтқасы, оқ ату түйреуіші, газ реттегіші және т.б.жатады [2].

3D баспа технологиясы алғаш рет 80-жылдардың басында ойлап табылғаннан бері осы уақытқа дейін қарқынды дамып келеді. Бастапқыда 3D баспада бірнеше материалдар ғана пайдаланылды, бірақ қазір әр түрлі материалдарды пайдаланып басып шығаруға болатын технология, атап айтқанда, металдан, керамикадан, ағаштан, сондай-ақ пластмассадан инклюзивті бөлшектер жасалады [3].

Ату қаруында қолданылатын материалдардың басым бөлігі пластмасса мен металл екенін ескерсек, қазіргі 3D принтерлерді пайдалана отырып, оның бөлшектерін дайындауға болады. Әрине, қару-жарақ жауапкершіліктің жоғары дәрежесіне ие болуы тиіс, сондықтан олар өте жоғары беріктік талап ететін бөлшектерден жасалып және пайдалану үшін көптеген сертификаттау рәсімдерінен өтуге тиіс. Алайда, орташа беріктік материалдарынан жасалған бөлшектерді заманауи 3D-принтерлер мен материалдардан дайындауға болады.

Бұл жұмыста 3D принтерде жасап шығаруға болатын бөлшектерге назар аударамыз және ұрыс аяқталғаннан кейін зақымдалған немесе жоғалған бөлшектерді ауыстыру үшін жаңа бөлшектерді өндіру мәселесін шешуді жоспарлайтын аралас тұтас сандарды сызықтық бағдаламалау (Mixed Integer Linear Programming – MILP) моделін ұсынамыз. Соғыстың ерекшеліктеріне байланысты бөлшектерді қысқа мерзімде жасап және оны зақымданған бөлшектің орнына ауыстырып қойып, жөнделген қаруды ұрысқа қайта енгізу қажет. Сондықтан ұсынылып отырған үлгінің мақсаты дайындалатын қару бөлшектерін өндіру қажет жалпы уақытты барынша азайту болып табылады [4].

Бұл жұмыста келесідей ұйымдастырылған. 1-бөлімде 3D баспа технологиясын зерттеу мотивациясы мен туындайтын мәселелер сипатталады. Әсіресе, біз 3D принтерлердің сипаттамаларын көрсететін және дәстүрлі жоспарлау әдістерінен сараланған кіші бөлімді өндірістік тұжырымдаманы ұсынылады. 2-бөлімде 3D принтердің қару бөлшектерін өндірудің ең қысқа уақыт кестесін жоспарлаудың математикалық моделін ұсынлады және сипатталады. Ұсынылған модель 3-бөлімде өндірістің жалпы мерзімін қысқарта алатынын растау үшін есептеу эксперименттерінің нәтижелерін талдаймыз.



Сайып келгенде, 4-бөлімде осы зерттеулердің үлестерін ұсыну арқылы мақала қорытындыланады. Сондай-ақ, зерттеудің болашақ бағыттарын ұсынылады.

Зерттеу әдістері

Бұл жұмыстың зерттеу проблемасы соғыс кезінде ең қысқа мерзімде бүлінген немесе жоғалған қару бөлшектерін шығаруды жоспарлау болып табылады. Бұл мәселені жоспарлау әдістемесімен шешу үшін принтерді машина ретінде және қару-жарақ бөлшегін жұмыс ретінде қарастырамыз. Бұл қадам кезінде бірнеше 3D принтерлерге, яғни бір немесе бірнеше машиналарға салыстырмалы талдау жасалған. Зерттеу жұмысын жазу барысында анализ, синтез, логикалық бірлік, математикалық әдістер қолданылды.

Негізгі бөлім

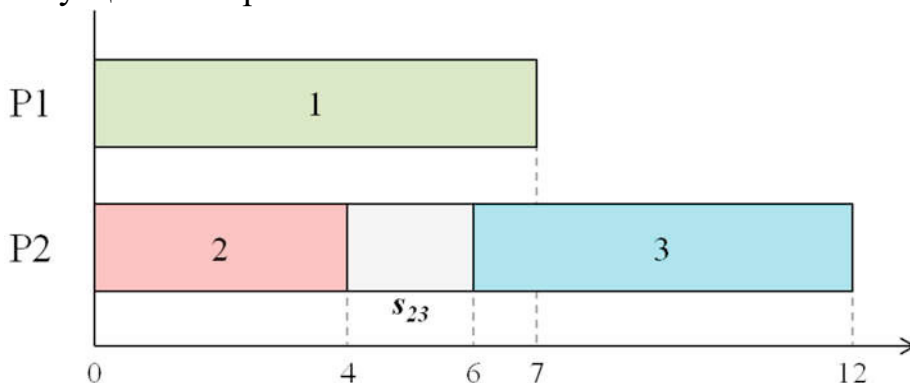
Қару-жарақ бөлігі, яғни жұмыс принтерлердің бірімен дайындалатындықтан, бұл мәселені параллель машиналық жоспарлауға (PMS) картаға түсіруге болады. PMS көптеген зерттеушілері белсенді зерттеген және бір машинасы бар машина моделінің жалпы жағдайы болып табылады [5]. Алайда қару бөлігін принтерлердің біреуі ғана жасап шығаруы міндетті емес, бірақ бөлуге шешім қабылданатын бөлігін екінші принтер жасап шығарғандықтан, ол стандартты PMS-ке қарағанда күрделірек проблема болып табылады [6]. Егер әскерилер ұрыс алаңында 3D принтерді енгізсе, оны рота бөлімшесінде пайдалану орынды [7]. Олардың өздерінің моторландырылған маневрлік мүмкіндігі болғандықтан 3D принтерлерді тасымалдай алады. Мұндай өндірісте екі немесе одан да көп 3D принтерлерді пайдаланады, сондықтан қосалқы бөліктерді құрастыруға келтіру үшін қосымша тасымалдау шығындары қарастырылмайды [8].

Жоспарлау проблемасының өзіндік ерекшеліктері бар. Сипаттамаларына байланысты жоспарлаудың барлық проблемалары жоспарлау триплеті ретінде ұсынылуы мүмкін [9]. Триплет өрнегін жоспарлау конвенциясы — $A / B / C$. A машинаның сипаттамасын білдіреді және B өңдеу сипаттамасын білдіреді. Сайып келгенде, C — ең кішілеуге жататын объективті функция. Сондықтан бұл жұмыста проблемалық сипаттамаларын қарастырып, оны a деп білдіретін болсақ жоспарлау триплет, біз оны Q_m / s_{ij} , бөлу | деп білдіре аламыз $Stax$. Себебі, мылтық бөлшегін өндіру проблемасы тізбекті деп эндентті баптау уақытын және бөлікті бөлу өндірісін ескере отырып, макспанды барынша азайту проблемасы болып табылады. Сондай-ақ, машиналар әр түрлі өндірістік қабілетке ие біркелкі машиналар болып табылады [10].

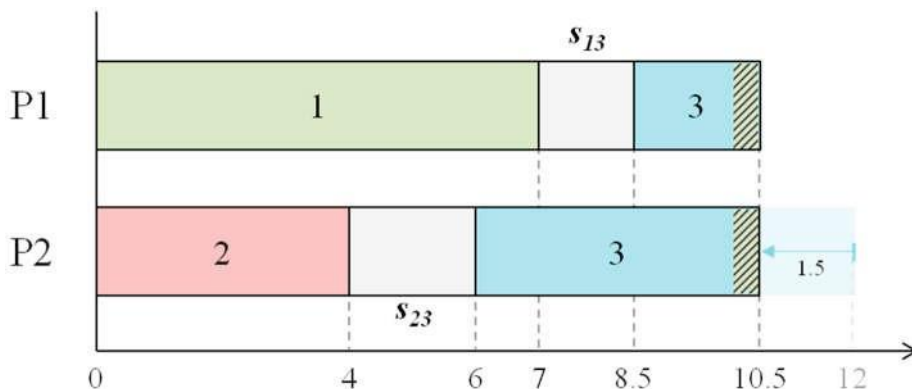
1- және 2-суреттерде қарастырылып отырған проблеманың шешу құрылымдары көрсетілген. Бұл мылтықтың үш бөлшегін және екі 3D принтерді өндіру кестесі. 2-суретте Үшінші бөлшек өндіріс кестесі екі 3D принтерге анықталады. Алайда бөліктің бөлігін өндіру кезінде осы бөліктің екі қосалқы бөлігін құрастыруға арналған бекітпе қосымша дайындалуы тиіс, бұл осы бөлік үшін жұмыс жүктемесін арттырады. 2-суретте көрініп тұрғандай, мылтықтың үшінші бөлігінің екі кіші бөлігін дайындаудың уақыт тақтасындағы көлеңкелі аумақ өндеуші өнеркәсіптің кіші бөлімінің жұмыс жүктемесінің артуына байланысты өндіріс уақытының ұлғаюын білдіреді.

Жұмыс жүктемесінің осындай ұлғаюына байланысты өндірістік уақыттың ұлғаюына (жоғалуына) қарамастан, өндірудің жалпы аяқталу уақыты (макспан) анықталмаған жағдайда өндірісті аяқтаудың жалпы мерзімі (макспан) өндірістік кестеден қысқа болуы мүмкін. Басқаша айтқанда, 1-суретте $w_i \max$, яғни макспан12.

Алайда 2-суретте, $C \max$, яғни макспан10,5 құрайды, осылайша өндірісті аяқтаудың жалпы мерзімі 1,5-ке қысқарады. Бұл кіші бөлімге бөлінген өндірістік шешім принтерлер арасындағы жұмыс жүктемесінің теңгерімсіздігін жоятын және теңдестіретін шешімді алу арқылы біздің мақсатымызға өндірісті аяқтаудың жалпы уақытын барынша азайтты.



1-сурет. Қосалқы өндеусіз өндіріс кестесі



2-сурет. Қосалқы өндеумен өндіріс кестесі



Математикалық үлгі

1.1. Нотація және шешім айнымалылары

Бұл мәселені математикалық модельде құру үшін біз шешімнің белгілері мен айнымалыларын келесідей анықтаймыз.

* Белгілеу

J : Жасалуы керек қару бөлшектерінің жиынтығы, $j, J\{1,2,\dots,n\}$.

P : 3D принтер жинағы, $p, P\{1,2,\dots,m\}$.

M : Ерікті түрде үлкен тұрақты.

γ_j : J бөлігін өндіруге арналған қосымша мөлшердің қатынасы, егер бөлік бөлінетіні анықталса.

s_{ij} : J бөлігі сол 3D принтердегі I бөліктен кейін бірден жасалған кезде орнату уақыты қажет.

Q_j : J . AP бөлшектерінде жасалуы керек бөлшектердің саны: p 3D принтерінде қару-жарақ жасау мүмкіндігі.

* Шешім айнымалылары

x_{pj} : 1, Егер p 3D принтері j бөлігін шығарса, әйтпесе 0.

u_{rij} : 1, Егер p 3D принтері J бөлігін I бөлігін жасағаннан кейін бірден шығарса, әйтпесе 0.

z_j : 1, егер j бөлігін бөліктерге бөлу туралы шешім қабылданса, әйтпесе 0.

t_{pj} : P 3D принтерінде J бөлігін жасау уақыты.

sr_j : 3D принтердегі J бөлігінің өндіріс мерзімі p . S_{max} : $Makespan$.

1.2. Математикалық модельдеу

Аралас бүтін сызықтық бағдарламалау (MILP) үлгісі:

$$\sum_{p \in P} t_{pj} a_p = Q_j (1 + \gamma_j \cdot z_j), \forall j \in J \quad (1)$$

$$Q_j x_{pj} \geq t_{pj} a_p, \forall p \in P, j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} x_{pj} \leq 2, \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{pj} + x_{qj} - 1 \leq z_j, \forall p, q \in P, p \neq q, j \in J \quad (4)$$

$$x_{pj} + x_{qj} \geq 2 \cdot z_j, \forall p, q \in P, p \neq q, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{i \in J, i \neq j} u_{rij} = x_{pj}, \forall p \in P, j \in J \quad (6)$$



$$\sum_{i \in J} y_{pij} - \sum_{i \in J} y_{pji} = 0, \forall p \in P, j \in J \quad (7)$$

$$c_{pj} + M(1 - y_{pij}) \geq c_{pi} + s_{ij} + t_{pj}, \forall p \in P, i, j \in J \quad (8)$$

$$c_{pj} \leq C_{max}, \forall p \in P, j \in J \quad (9)$$

$$x_{pj} \in \{0, 1\}, \forall p \in P, j \in J \quad (10)$$

$$y_{pij} \in \{0, 1\}, \forall p \in P, i, j \in J \quad (11)$$

$$z_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J \quad (12)$$

$$t_{pj} \geq 0, \forall p \in P, j \in J \quad (13)$$

$$c_{pj} \geq 0, \forall p \in P, j \in J \quad (14)$$

Осы MILP моделінің объективті функциясы C_{max} болып табылады, барлық дайындалатын қару бөлшектерін өндіруді аяқтаудың жалпы уақыты. Бұл модельдің мақсаты максимал болып табылатын C_{max} -ты барынша азайту болып табылады. Шектеу (1) j -дің әр бөлігін дайындайтын 3D принтерлерге сол бөлікте шығарылатын бөлік массасының мөлшерін қанағаттандыруға мүмкіндік береді. Егер j бөлігінің бөлінуі анықталса, онда саны γ_j қатынасына көбейеді. Бұл көбейген сан ассемблер үшін бекітпе массасын білдіреді. Шектеу (2) j бөлігі тағайындалған 3D принтерді Q_j шегінен тыс шығаруды шектейді. Шектеу

(3) егер қосалқы бөлік өндірісі пайдаланылса да, бөлігін екі бөлік бөлігіне дейін бөледі. Шектеу (4) және (5) — z_j -ді x_{pj} -мен қосатын байланыстырушы шектеу, олар z_j -ді 1-ге мәжбүрлейді, егер екі 3D принтер j бөлігін шығарса. J бөлігін шығаратын 3D принтерді шектеу (7) міндеттілікке келесі бөлігін шығаруы тиіс және Шектеу (8) 3D принтердің j бөлігінің өндірісті аяқтау уақытын анықтайды. Соңы, шектеулер (10)~(14) екілік шешім айнымалыларын және шешім айнымалыларының негативтік шарттарын білдіреді.

Есептеу нәтижелері

Бұл бөлімде өндірістің жалпы аяқталу мерзімін (максимал) бөлуші өндіріс тұжырымдамасын ескере отырып, өндіріс кестесін жоспарлау кезінде қысқартуға болатынын растадық. Мәселені шешу үшін ұсынылған модель оңтайландыру software Xpress(Ver. 7.9) көмегімен іске асырылды. Барлық



тәжірибелер Intel Core i5(2.30GHz) бойынша 4,00 Гб RAM ортасымен орындалды, ал Xpress есептеу уақыты секундпен берілді.

Тәжірибелерге арналған параметр параметрлері былайша болды. А, В, С, және D төрт түріне жататын қару бөлшектерін жасау үшін массаның 50-ден 100-ге дейінгі мөлшерін (Q_j) қалыптастырдық. Ал біз 0-ден 10-ға дейінгі аралықта баптау уақытын жасадық. s_{ij} осы қағаздағы реттілікке тәуелді баптау уақыты болғандықтан, ол part өндірістік тәртібіне сәйкес өзгеше, және бір түрдегі бөлшектерді бірізділікпен шығарғанда 0-ге тең. Бұдан басқа, R_j мәні С және D типіндегі бөліктер үшін 0,05-ке дейін белгіленді, оларды бөлу арқылы дайындауға болады, ал R_j мәні А және В типіндегі бөліктер үшін M -ге белгіленді, бұл жерде бөлу-бөлу өндірісі мүмкін емес. Бұл экспериментте бөлшектер санын 3-тен 6-ға дейін өзгерттік. Комбинацияға сәйкес бөлшектер саны мен s_{ij} мәніне сәйкес Q_j мәні бөлік типі тиісінше 1-кестеде және 2-кестеде келтірілген. 3-кестеде осындай параметр параметрі бойынша ыңғайлы болу үшін бірдей 1 мүмкіндігі бар екі принтермен эксперименттік нәтижелер көрсетіледі.

Бөлшектер саны	А типіндегі бөліктерінің Q_j		В типіндегі бөліктерінің Q_j		С типіндегі бөліктерінің Q_j	бөліктерінің Q_j
3	50		70		90	-
4	50		70		90	100
5	50	50	70		90	100
6	50	50	70	70	90	100

1-кесте. Q_j мәні.

i/j	А типіндегі	В типіндегі	С типіндегі	Д типіндегі
А бөлігін теру	0	10	6	4
В түрінің бөлігі	7	0	2	5
С түрінің бөлігі	4	5	0	2
Д түрі бөлігі	1	3	2	0

2-Кесте. s_{ij} –мәні.

Бөлшектер саны	Бөлінген бөлшексіз Сплит модель		Ұсынылған модель	
	Смах	Уақыт	Смах	Уақыт
3	127	0.1	110.25	0.1
4	162	0.1	159.75	0.4
5	192	0.2	185	1.0
6	226	0.7	219.75	5.7

3-кесте. Есептеу нәтижелері.



Егер 3D принтер енгізілсе, оны өздігінен маневр жасау мүмкіндігі бар компания бөлімшесінде пайдалану орынды. Сондықтан осы бөлімде орындалған тәжірибелердің мақсаты компания бөлімшесінде екі 3D принтерді енгізген және пайдаланған кезде, қосалқы бөліктерді бөлу тұжырымдамасын қарау кезінде өндірісті аяқтаудың жалпы мерзімін бөлу тұжырымдамасын қарастырмайтын қолданыстағы жоспарлау жоспарымен салыстырғанда қысқарту мүмкіндігінің болуын растау болды. 3-тен 6-ға дейінгі бөліктердің барлық жағдайларында өндіріс жоспары белгіленген кезде *Смакс* қысқартылғаны расталды. Төрт жағдайда макепан орта есеппен 5%-ға төмендеді. Осы эксперимент арқылы компания блогына екі 3D принтерді енгізу және бөліктерді бөлу өндірісін қарастыратын бөлшектерді өндіру жоспарын салу арқылы уақытты қысқарту тиімді екенін көруге болады. Алайда, ұсынылған модельдің оңтайлы шешімін табу үшін оңтайландыру бағдарламалық жасақтамасы пайдаланылса да, бөлшектер санының артуына қарай қысқа мерзімде оңтайлы шешімді анықтау мүмкін емес. Сондықтан ұсынылып отырған модельді әскери доменде неғұрлым іс жүзінде пайдалану үшін қысқа мерзімде үлкен проблемаларды шеше алатын алгоритмдер мен геуристика бойынша одан арғы зерттеулерді рэрформациялау қажет.

Қорытынды

Бұл қағазда біз бастапқы зақымдалған бөлшектерді ауыстыру үшін қажетті қару бөлшектерін өндіруді аяқтау уақытын барынша азайтатын MILP жоспарлау моделін ұсындық. Бүлінген немесе жоғалған бөлшектерді өндіруді аяқтау үшін қаншалықты тезірек қажет болса, соншалықты жақсыжауынгерлік күш жалғасып жатқан ұрыста немесе келесі шайқасқа дайындалуда. Егер әскер осы дала нұсқаулығына сәйкес бірнеше сыни бөлшектерді тасымалдайтын ұрыс алаңына көшсе, онда олар бұдан былай қару бөлшектерін алмастыра алмайды және барлық қосалқы бөлшектерді пайдаланғаннан кейін қаруды пайдалана алмайды. Екінші жағынан, осы қағазда ұсынылғандай, соғыс уақытында далада 3D принтердің болуы сыни бөлшектерді қажетті уақытта *rsight* орнында дайындауға және пайдалануға мүмкіндік береді.

Әскери қызметте 3D принтерлерді қолдану әлі кең таралмағанымен, жақын арада 3D-принтерлердің даму жылдамдығын және азаматтық салада 3D-принтинг технологиясын қолданудың өсуін ескере отырып, әскерилердің көптеген салаларында 3D принтерлер қолданылады деп күтілуде. Ұйымның өсу технологиясын әзірлеуден туған жаңа жүйені немесе жабдықты енгізу және пайдалану табиғи нәрсе. Алайда, жаңадан енгізіліп жатқан жүйенің



немесе жабдықтың тиімді және тиімді жұмыс істейтінін қарастыру қажет. Сондықтан бұл қағазда ұсынылғандай, соғыс уақытында ұрыс алаңында ауыстыруды қажет ететін қару бөлшектерін шығару және тарату мақсатында 3D принтерді енгізу табиғи нәрсе.

Сондай-ақ, ең қысқа мерзімде барлық қажетті бөлшектерді шығару мақсатында өндірістің тиімді жоспарлануын белгілеу қажет, себебі шайқастан кейін бірнеше бөлігі бүлінуі немесе жоғалуы мүмкін. Ол үшін біз өндіріс кестесін белгілеу үшін дәстүрлі жоспарлау техникасын қолдана алар едік, бірақ біз 3D-принтинг технологиясын қолдана отырып, қару-жарақ бөлігінің өндірістік тұжырымдамасын ұсындық. Осы тұжырымдамада шығарылған субпарттарды құрастыру мақсатында құрастыруға арналған қосымша бекітпе өндірісінің есебінен жұмыс жүктемесінің ұлғаюын ескере отырып, модель салынды. Жұмыс жүктемесінің артуына қарамастан, осы тұжырымдаманы енгізе отырып, SC хедирлеудің дәстүрлі техникасын қолдана отырып, бөлшектерді шығарумен салыстырғанда өндірісті аяқтаудың жалпы мерзімін қысқартуға болатыны расталды. Әсіресе кездейсоқ жасалған енгізу деректерімен және параметрлер параметрлерімен тексерілген төрт жағдайда макепан орта есеппен 5%-ға қысқартылды.

Ұсынылып отырған модель жақын арада 3D принтер енгізілген және жұмыс істейтін өндірістік кестені жоспарлау үшін пайдалы құрал болады. Бұдан басқа, оны өндірісті жоспарлау кезінде азаматтық, сондай-ақ әскери салалардағы 3D принтерді пайдалана отырып қолдануға болады. Осылайша, осы қағазда ұсынылған 3D принтердің сипаттамаларын көрсететін өндірістік жоспарлау моделін болашақта әскери және азаматтық қызметте 3D принтерді тиімді пайдалану үшін пайдалану күтілуде.

Осы зерттеудің тәжірибелері арқылы ұсынылған модель өндірісті аяқтаудың жалпы мерзімін қысқарту үшін тиімді екенін растадық. Алайда, бұл модельді әртүрлі салаларда, соның ішінде әскери салаларда неғұрлым іс жүзінде пайдалану үшін үлкен өлшемді проблемаларды ақылға қонымды тімде шеше алатын алгоритмдер мен геуристиканы одан әрі зерттеу қажет, Сонымен қатар, қазіргі модель оператор бөлінген бөліктерді тікелей құрастырады деп болжайды, бірақ оны қолмен құрастырудан гөрі 3D принтермен құрастыру процесін көрсете алатын үлгі ретінде әзірлеу қажет. Болашақ зерттеу Wi жеке дайындалса да, бүкіл процестің соңында құрастырылған субпарттарды өндірудің жоспарлы жоспарын белгілей алады.

Әдебиеттер тізімі:

1. C. Ohn, G. Kim, I. Park, J. Nah 60 battles of the Korean War, Goldegg, 2010. – 77 p.
2. ROK Army Headquarters, Field Manual note: K1· K2 Rifle, 2016. – 113 p



3. Wohlers, T., Caffrey, T. Additive manufacturing and 3D printing state of the industry: Annual worldwide progress report, Wohlers Associates Inc.2011. – 12 p
4. Mokotoff, E. Parallel machine scheduling problems: A survey, Asia-Pacific Journal of Operational Research, 18 (2001). – P. 193-242.
5. Cheng, T.C., Sin, C.S. A state-of-the-art review of parallel-machine scheduling research, European Journal of Operational Research, 47 (1990). – 271 p.
6. Hoitomt, D. J., Luh, P. B., Max, E. Pattipati, Scheduling jobs with simple precedence constraints on parallel machines, IEEE Control Systems Magazine, 10 (1990) . – P. 34-40.
7. L. Fanjul-Peyro, F. Perea, R. Ruiz, Models and matheuristics for the unrelated parallel machine scheduling problem with additional resources, European Journal of Operational Research, 260 (2017). – 493 p.
8. B. Gacias, C. Artigues, P. Lopez, Parallel machine scheduling with precedence constraints and setup times, Computers & Operations Research, 37 (2010). - P.141-151.
9. Y.-D. Kim, S.-O. Shim, S.-B. Kim, Y. - C. Choi, H. M. Yoon, Parallel machine scheduling considering a job-splitting property, International Journal of Production Research, 42 (2004). - 46 p.
10. M. L. Pinedo, Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Springer-Verlag, (2008). - 23 p.

Е.З. Нугман, М.К. Сагынтай, А.К. Мустафа

3D-Принтер – планирование производства деталей оружия в кратчайшие сроки

В этом исследовании представлена математическая модель для оптимизации производства деталей оружия с использованием 3D-принтера с использованием параллельного машинного планирования. После того, как битва с врагом закончится, многие виды оружия будут повреждены. Поврежденное оружие классифицируется как с полным, средним или незначительным повреждением. Среди них оружие с незначительными повреждениями можно использовать снова сразу после ремонта, просто заменив поврежденную или отсутствующую деталь. Однако из-за постоянного перемещения войск по полю боя перевозить тысячи деталей оружия непрактично. Чтобы исправить эту ситуацию, 3D-принтер можно перевозить в отдельном блоке, а необходимые детали можно изготовить в полевых условиях для устранения даже незначительных повреждений оружия. Для этой цели предлагается модель планирования производства необходимых деталей в течение короткого периода времени после завершения каждого боя. Набор из нескольких 3D-принтеров может работать как параллельная машина и изготавливать разные детали. 3D-принтеры могут изготавливать готовое изделие для каждой детали одновременно или изготавливать две отдельные детали для каждой детали, но если они изготавливают отдельные детали, это увеличивает нагрузку на эту деталь из-за производства дополнительных крепежных элементов для сборки. То есть, в случае изготовления отдельных деталей общее время изготовления этой детали будет больше по сравнению со случаем немедленного изготовления готового изделия. Тем не менее, это исследование подтверждает, что за счет внедрения концепции серийного изготовления деталей оружия время изготовления может быть сокращено при планировании графика производства 3D-принтера.

Ключевые слова: параллельное машинное планирование; производство деталей вооружения в военных условиях; 3D-печать; субсерийное производство.



E.Z. Nugman, M.K. Sagintai, A.K. Mustafa

3D Printer planning the production of weapon parts in the shortest possible time

This study presents a mathematical model to optimise the production of weapon parts using a 3D printer using parallel machine planning. After the battle with the enemy is over, many weapons will be damaged. Damaged weapons are classified as full, medium or minor damage. Among these, weapons with minor damage can be used again immediately after repair, simply by replacing the damaged or missing part. However, due to the constant movement of troops around the battlefield, carrying thousands of weapon parts is not practical. To remedy this situation, a 3D printer can be carried in a separate unit and the necessary parts can be produced in the field to repair even minor weapon damage. A model for scheduling the production of the necessary parts in a short period after each battle is over is proposed for this purpose. A set of multiple 3D printers can operate as a parallel machine and produce different parts. The 3D printers can produce a finished product for each part simultaneously or produce two separate parts for each part, but if they make individual parts, this increases the burden on that part due to the production of additional fasteners for assembly. That is, in the case of making individual parts, the total production time for that part will be longer compared to the case of making the finished product immediately. Nevertheless, this study confirms that by introducing a sub-batch fabrication concept of weapon parts, the production time can be reduced when planning the production schedule of a 3D printer.

Keywords: parallel machine scheduling; weapons parts production under war conditions; 3D printing; sub-batch production.

References:

1. Ohn, C., G. Kim, I. Park, J. (2010). 60 battles of the Korean War, Goldegg,
2. (2016). ROK Army Headquarters, Field Manual note: K1. K2 Rifle.
3. Wohlers, T. Caffrey, T. (2011). Additive manufacturing and 3D printing state of the industry: Annual worldwide progress report, Wohlers Associates Inc.
4. Mokotoff, E. (2001). Parallel machine scheduling problems: A survey, Asia-Pacific Journal of Operational Research, 18.
5. Cheng, T.E. Sin, C.S. (1990). A state-of-the-art review of parallel-machine scheduling research, European Journal of Operational Research, 47.
6. Hoitomt, D. J., Luh, P. B. E. Max, Pattipati K. R. (1990). Scheduling jobs with simple precedence constraints on parallel machines, IEEE Control Systems Magazine, 10 34-40.
7. Fanjul-Peyro, L., Perea, F., Ruiz, R. (2017). Models and matheuristics for the unrelated parallel machine scheduling problem with additional resources, European Journal of Operational Research, 260 482-493.
8. Gacias, B. Artigues, C., Lopez P. (2010). Parallel machine scheduling with precedence constraints and setup times, Computers & Operations Research, 37.
9. Kim, Y.D., Shim, S.O., Kim, S. B (2004). Parallel machine scheduling considering a job-splitting property, International Journal of Production Research, 42.
10. Pinedo, M. L (2008). Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Springer-Verlag.



Нугман Ерік Зейнелұлы	PhD, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан
Нугман Ерик Зейнелович	PhD, ассоциированный профессор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан
Nugman Yerik	PhD, Associate Professor Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

Мұстафа Азамат Қойшықұлы	PhD, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің оқытушысы, Алматы, Қазақстан
Мустафа Азамат Койшыкович	PhD, преподаватель Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан
Mustafa Azamat	PhD, lecturer, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

Сағынтай Мұқағали Қаратайұлы	Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің оқытушысы, Алматы, Қазақстан
Сағынтай Мукағали Каратаевич	преподаватель Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан
Sagintai Mukagali	lecturer, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan