

Jerzy GROBELNY, Rafał MICHALSKI*

ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW ROZMIESZCZANIA DO OPTIMALIZACJI INTERFEJSU CZŁOWIEK–MASZYNA

W pracy przedstawiono koncepcję zastosowania algorytmu symulowanego wyżarzania do optymalizacji interfejsu człowiek–maszyna. Istotą propozycji jest uwzględnienie, w ogólnej perspektywie podejścia symulowanego wyżarzania kryteriów decydujących o jakości ergonomicznej panelu sygnalizacyjno-sterowniczego. Zaproponowano ponadto prostą koncepcję mapowania wielkości obiektów na siatce modułowej za pomocą sztucznych elementów odpowiednio ze sobą powiązanych. Skuteczność zaproponowanego podejścia pokazano w eksperymentach symulacyjnych na przykładach interfejsów złożonych z komponentów o różnych wymiarach geometrycznych. Porównanie rezultatów proponowanego algorytmu z tradycyjną metodyką CRAFT jest obiecujące i skłania do dalszych prac w obszarze badań właściwości metody i jej doskonalenia.

Słowa kluczowe: ergonomia, projektowanie interfejsów, rozmieszczanie obiektów na płaszczyźnie, craft, symulowane wyżarzanie.

1. WPROWADZENIE

Interakcja człowiek–maszyna odbywa się najczęściej za pomocą interfejsu złożonego z fizycznych bądź wirtualnych paneli zawierających komponenty sygnalizacyjne przekazujące informacje oraz urządzenia sterownicze, za pomocą których operator zmienia stan urządzenia (procesu). Projektowanie interakcji człowiek–maszyna w myśl paradygmatu projektowania skoncentrowanego na człowieku – *Human Centered Design* (HCD) polega na takim ukształtowaniu interfejsu, które zapewnia jego maksymalną użyteczność. Według normy ISO 9241 użyteczny interfejs pozwala skutecznie i efektywnie realizować zadania, do jakich jest przeznac-

* Wydział Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej.

czony zapewniając operatorowi wysoki poziom satysfakcji z pracy. Optymalna aranżacja paneli sygnalizacyjno-sterowniczych czy też interfejsu jako całości jest od dawna przedmiotem badań w sferze ergonomii. W pracy McCormicka [8] sformułowano główne zasady rozmieszczania komponentów interfejsu determinujące osiągnięcie użytecznych rozwiązań:

- a) zasada ważności polega na umieszczaniu najważniejszych elementów interfejsu (panelu) w najważniejszych miejscach przestrzeni pracy operatora (np. ważne elementy informacyjne w centralnym polu widzenia, ważne elementy sterownicze w optymalnej strefie zasięgu),
- b) zasada częstości użycia zaleca umieszczanie najczęściej używanych urządzeń w miejscach najbardziej dogodnych dla operatora,
- c) zasada kolejności użycia sugeruje przestrzenne zbliżenie urządzeń używanych w sekwencjach (jedno po drugim),
- d) zasada funkcjonalna nakazuje grupować (umieszczać w sąsiedztwie) obiekty spełniające podobne (identyczne) funkcje.

Wymienione ogólne zasady aranżacji pokazują złożoność i wielokryterialność procesu projektowania interfejsu. Te cechy zapoczątkowały zapewne prace nad konstrukcją narzędzi wspomagających proces projektowania. Intensywnie rozwijanym nurtem tych prac są modele optymalizacyjne. Już od lat 60. elementem szczególnego zainteresowania jest analiza links i zastosowanie formalnych modeli z dziedziny *Facilities Layout Problems* (FLP). Klasyczny problem FLP (obszerny przegląd modeli pokazano np. w pracach [7, 12]) polega na poszukiwaniu takiego rozmieszczenia n obiektów w n dostępnych miejscach aby minimalizować ogólny koszt funkcjonowania interfejsu złożonego z tych obiektów wyrażony funkcją $Q = L_{ij} \times D_{ij}$. W tym modelu L_{ij} – powiązania oznaczają np. ilość operacji transportowych między obiektami i - j a D_{ij} odległość między tymi obiektami w projekcie rozmieszczenia. Jak łatwo zauważyć wymienione wyżej ogólne zasady rozmieszczania komponentów interfejsu – c) i d) można analizować w podobny sposób. Niezbędne jest odpowiednie zdefiniowanie i liczbowe określenie powiązań między obiektami. Na przykład powiązania komponentów sygnalizacyjnych są determinowane ilością operacji przenoszenia wzroku z jednego obserwowanego obiektu na drugi. Z kolei związki logiczne łączące elementy sterownicze można zoperacjonalizować poprzez ilość przemieszczeń dłoni lub palców z jednego obiektu na drugi w systemach fizycznych albo wskaźnika – kursora w systemach wirtualnych. Zasady a) lub/i b) można rozumieć jako pewnego rodzaju ograniczenie nakładane na optymalizację wykonywaną w oparciu o powiązania wzajemne par obiektów [zasady c) i d)]. O ile te ostatnie są nakierowane na optymalizację relacji przestrzennych między obiektami, to ważność lub/i częstotliwość użycia odnoszą się do relacji operator – obiekt interfejsu. Jeśli więc na przykład panel sterowniczy jest obsługiwany ręką, to najważniejszy (na przykład decydujący o bezpieczeństwie) element powinien być umieszczony jak najbliżej położenia wyjściowego ręki. To wymaganie może być ogólnie sprzeczne z rezultatem optymalizacji wykonanej w myśl zasad c) i/lub d). Dlatego w proponowanych podejściach modelowych uwzględnia się obie grupy, odpowiednio zoperacjonalizowanych zasad

w celu osiągnięcia rozsądnych rozwiązań kompromisowych. Polegają one najczęściej na (ważonym) sumowaniu ocen rozmieszczeń dla obu rodzajów zasad rozmieszczania. Zasady a) i b) określa się przy tym mianem kryteriów I rzędu (relacja obiekt – operator), natomiast c) i d) to zasady rzędu II (relacja obiekt – obiekt). Powołane określenia wprowadził Wierwille [15].

Wiele podejść optymalizacyjnych do wspomagania projektowania interfejsów zaprezentowano w literaturze. Poza wykorzystywanymi koncepcjami algorytmów poszukujących optymalne (suboptymalne) rozwiązania różnią się one między innymi: a) operacjonalizacją danych powiązań, b) uwzględnianymi kryteriami (pierwszego i drugiego rzędu), c) sposobem reprezentowania kształtu i wielkości obiektów.

Bonney i Williams [1] zaproponowali model wielokryterialny i wieloetapowy oparty o heurystyki, w których dane dotyczące powiązań są definiowane przez projektanta na skalach ocen subiektywnych. Model ujmuje kryteria I i II rzędu. Nie uwzględnia wielkości obiektów. Sargent i in. [9] stosują na przykład specyficzną wersję klasycznego algorytmu CRAFT [2] w zaproponowanej wieloetapowej metodyce optymalizacji panelu obsługiwanego przez jednego operatora. Analiza danych powiązań jest wprawdzie oparta o oceny subiektywne, ale sformalizowana poprzez zastosowanie porównań obiektów parami w perspektywie metodyki *Analytic Hierarchy Process* AHP [10]. Komponenty panelu są w tym podejściu reprezentowane na siatce regularnej, czyli kracie złożonej z kwadratów o boku równym jeden). Istotną modyfikacją tej reprezentacji jest możliwość odwzorowania rzeczywistych wymiarów komponentów poprzez przypisanie im proporcjonalnej ilości jednostkowych elementów siatki regularnej.

Poza wspomnianym zmodyfikowanym algorytmem CRAFT pojawiają się także próby zastosowania metaheurystyk takich, jak algorytmy genetyczne, *algorytmy mrówkowe* czy algorytmy typu roje cząstek, ang. *particle swarms*. Takie podejścia dominują także w obszarze ogólnych badań FLP w ostatnich dwóch dekadach. Hani i in. [4] na przykład zaproponowali zastosowanie algorytmu mrówkowego. Podobne podejście zaproponowano w pracy Shengyuan i in. [11]. W pierwszym przypadku dane powiązań między obiektami uwzględniają jedynie częstości użycia (kryterium I rzędu), w drugim uwzględniono także ważność obiektów (kryterium I rzędu) wraz z kolejnościami użycia (kryterium II rzędu). W obu wypadkach rozwiązania projektowe nie uwzględniają wielkości i kształtu komponentów.

Zasadniczym celem prezentowanego w tej pracy podejścia jest propozycja zaadaptowania metaheurystyki symulowanego wyżarzania do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna. W szczególności interesująca wydaje się możliwość uwzględniania w optymalizacji obu typów kryteriów (pierwszego i drugiego rzędu) i jednocześnie modelowania wielkości obiektów w ramach analizowanej metaheurystyki. Jak dotąd takiej możliwości nie rozpatrywano w dyskutowanym obszarze. Skuteczność przedstawionego podejścia zostało poddane weryfikacji za pomocą symulacyjnych badań eksperymentalnych dla prostych przykładów w porównaniu z klasycznym modelem CRAFT.

2. PROPONOWANE PODEJŚCIE

2.1. Opis algorytmu

Algorytm symulowane wyżarzanie zaimplementowano zgodnie z ogólną ideą zamieszczoną w pracy Kirkpatricka i in. [6]. Ta idea polega na naśladowaniu zachowania cząstek metalu w procesie wyżarzania. Odniesienie procesu wyżarzania do zadania znajdowania rozwiązania problemu rozmieszczania obiektów polega na krokowym poprawianiu rozwiązania w oparciu o zamianę miejsc lokalizacji obiektów (parami lub trójkami). Proces ten przebiega w zmiennej, w każdym kroku obniżanej temperaturze (T). Jeśli zamiana w danym kroku przynosi poprawę wartości funkcji celu, to jest akceptowana. Jeśli jest odwrotnie, to z zadaniem prawdopodobieństwem taka zmiana może być zaakceptowana.

Praktyczna implementacja algorytmu wymaga zdefiniowania: temperatury początkowej, ilości powtórzeń w danej temperaturze (ilość losowanych zamian), schematu chłodzenia oraz kryterium zakończenia procesu wyżarzania. Przegląd różnych podejść do określania tych parametrów przedstawili Singh i Sharma [12]. W przedstawionych w naszej pracy badaniach wykorzystaliśmy implementację wykorzystującą doświadczenia płynące z badań prezentowanych wcześniej.

Po pierwsze, aby precyzyjnie zrealizować wskazanie Kirkpatrick i in. [6] by w pierwszym kroku algorytmu akceptować rozwiązania gorsze z prawdopodobieństwem ok. 0.8 przed zasadniczymi eksperymentami wyliczyliśmy wartość temperatury początkowej T_i w oparciu o wartość tego prawdopodobieństwa, podobnie jak w podejściu Singh i Sharma [12].

Po drugie, ilość powtórzeń w danej temperaturze przyjęto jako proporcjonalną do ilości obiektów $k \times N$, podobnie jak w pracach Wilhelma i Warda [16] czy Heragu i Alfa [5].

Po trzecie, tak jak w pracy Heragu i Alfa [5] przyjęto schemat schładzania jako $T(j) = rT(j-1)$ oraz ustalono $r = 0.9$. T_f – temperaturę końcową ustalano na podstawie z góry zadanej ilości kroków i jako $T_f = 0.9(i-1)T(i)$. Osiągnięcie tej temperatury (czyli też zadanej ilości kroków) jest więc kryterium zakończenia procesu.

Z racji tego, że zrealizowana implementacja pozwala na bieżąco obserwować rezultaty działania algorytmu, parametry k oraz i dla wszystkich eksperymentów ustalono na podstawie obserwacji zmian rezultatów kilku symulacji w czasie oraz wyników ostatecznych dla analizowanych przykładów. Na podstawie tych wstępnych badań przyjęto $i = 100$ oraz $k = 5$.

2.2. Model powiązań i sztuczne obiekty

Ponieważ klasyczna metoda wyżarzania operuje na danych bezwymiarowych (każdy obiekt to element siatki modułowej o wymiarach jednostkowych) w propo-

nowanym modelu przyjęto, iż obiekty mogą być reprezentowane za pomocą wielu jednostkowych modułów – proporcjonalnie do ich rzeczywistej, względnej wielkości. Takie sztuczne obiekty muszą być odpowiednio powiązane między sobą ponieważ algorytm działa osobno na każdej parze obiektów i nie ma żadnych ograniczeń co do swobody zamian losowanych par. W tym kontekście interesujące jest pytanie, czy można (i w jaki sposób) kształtować te powiązania tak, aby w rozwiązaniach nie występowały podziały symulowanych komponentów interfejsu na osobne części.

Modyfikacje klasycznego algorytmu CRAFT opisane w pracy Tompkinsa i in. [14] rozwiązują ten problem poprzez wprowadzenie ograniczeń. Tylko obiekty sąsiadujące albo o tym samym wymiarze mogą być w danym kroku zamieniane miejscami. Ponieważ takie ograniczenia bardzo zmniejszają ilość możliwych zamian, wprowadzona tutaj idea wydaje się prowadzić do pełniejszych eksploracji przestrzeni rozwiązań.

Na rys 1. pokazano zaproponowaną strukturę powiązań w proponowanym modelu dla powiązań zero-jedynkowych. Założono, że powiązania rzeczywiste dotyczą obiektów o różnych nazwach. Obiekty sztuczne, czyli te o takich samych nazwach, są powiązane każdy z jednym – reprezentującym grupę.

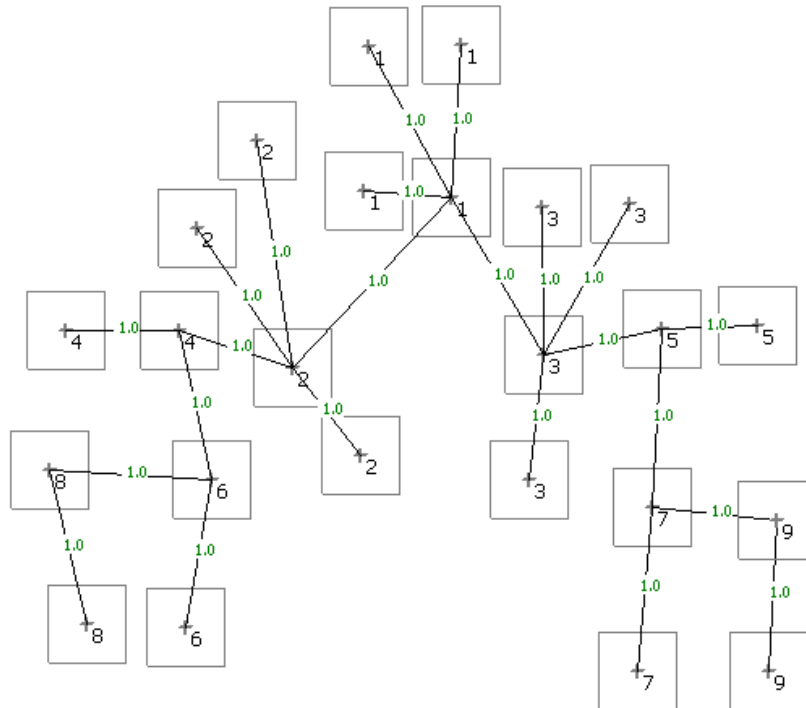
Ponieważ wszystkie tak skonstruowane powiązania odzwierciedlają relacje obiekty – obiekty (kryterium II rzędu) implementacja komputerowa umożliwi także wprowadzenie dodatkowych sztucznych obiektów reprezentujących położenie względne operatora i jego powiązanie z poszczególnymi komponentami w macierzy powiązań. Możliwe jest także blokowanie obiektów na siatce modułowej. Można na przykład założyć, że najważniejsze komponenty muszą znaleźć się na środku panelu – na wprost standardowej pozycji operatora. Takie zabiegi pozwalają uwzględnić względną hierarchię komponentów, a więc kryterium I rzędu. Podobna koncepcja zaproponowana została między innymi w pracy Sargenta i in. [9].

3. BADANIA SYMULACYJNE

W celu dokonania oceny wstępnej skuteczności przedstawionej metody zaprojektowano prosty eksperyment symulacyjny. W eksperymencie wykonano serie obliczeń prowadzących do znalezienia najlepszych rozwiązań dla danych macierzy powiązań o strukturze pokazanej na rys 1. Zaprojektowano dwa przykłady interfejsu o powiązaniach jednostkowych. Pierwszy o komponentach takich jak na rys. 1 (komponenty małe). Drugi o identycznej strukturze powiązań, ale o dwa razy większych rozmiarach elementów interfejsu (komponenty duże). Do porównań wybrano klasyczny algorytm CRAFT.

Dla obu algorytmów i obu przykładów wykonano po 30 przebiegów startujących z losowego rozmieszczenia obiektów (rzeczywistych i sztucznych) na siatce. W każdym przypadku zakładano rozmieszczenie obiektów w dwóch rzędach oraz bloko-

wano obiekt o numerze 1 na środku panelu – jako najważniejszy. Kryterium oceny jakości rozwiązań była funkcja celu $Q = \sum L_{ij}D_{ij}$, w której uwzględniono jednak tylko powiązania rzeczywiste.



Rys. 1. Struktura powiązań w proponowanym podejściu dla przykładu interfejsu o małych komponentach

Obliczenia w algorytmach oparto na wszystkich (także sztucznych) powiązaniach. Przykładowe, najlepsze rozwiązania zadania z małymi i dużymi komponentami uzyskane przy zastosowaniu obu algorytmów ilustrują odpowiednio rys. 2, 3 i 4.

8	6	4	2	1	1	3	3	5	7	9
8	6	4	2	1	1	3	3	5	7	9

Rys. 2. Najlepsze rozwiązanie przykładu z małymi komponentami dla algorytmu CRAFT i symulowane wyżarzanie

5	5	5	9	9	9	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	4	4	6	6	8	8
7	5	7	7	7	9	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	4	4	6	6	8	8

Rys. 3. Najlepsze rozwiązanie przykładu z dużymi komponentami dla algorytmu CRAFT

8	8	6	6	4	4	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	5	5	7	7	9	9
8	8	6	6	4	4	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	5	5	7	7	9	9

Rys. 4. Najlepsze rozwiązanie przykładu z dużymi komponentami dla algorytmu symulowanego wyżarzania

Można zauważyć, że oba rozwiązania są podobne, chociaż uzyskane metodą wyżarzania osiągnęło lepszą liczbową ocenę funkcji celu ($F = 21$). Ponadto w rozwiązaniu algorytmem CRAFT występuje jeden błąd rozpadu komponentu o numerze 7. Statystyczną analizę wszystkich wyników przedstawiono w kolejnym paragrafie.

4. UZYSKANE WYNIKI I Dyskusja

4.1. Podstawowe statystyki opisowe

W tabeli 1 zamieszczono podstawowe statystyki opisowe uzyskane dla wszystkich analizowanych przypadków eksperymentalnych. Dla małych komponentów obydwa algorytmy uzyskały takie same najlepsze wartości funkcji celu, podczas gdy dla obiektów dużych algorytm symulowanego wyżarzania okazał się lepszy zarówno pod względem najlepszych, jak i średnich wartości funkcji celu. Warto również zwrócić uwagę na znaczne większe wartości odchylenia standardowego dla algorytmu CRAFT w porównaniu z symulowanym wyżarzaniem szczególnie dla interfejsów z małymi komponentami. Oznacza to, że algorytm CRAFT uzyskiwał częściej rozwiązania znacznie odbiegające od średnich wartości funkcji celu.

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe przeprowadzonych eksperymentalnych analiz symulacyjnych dla wszystkich badanych wariantów interfejsów

Wielkość komponentów	Algorytm	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	SD*	MSE**
Małe	Craft	21,3	21	11	28	4.0	0,74
Małe	Symulowane wyżarzanie	12,6	12	11	17	1.7	0,32
Duże	Craft	44,6	44	26	66	9.6	1,76
Duże	Symulowane wyżarzanie	30,5	30	21	46	7.3	1,34

* Odchylenie standardowe

** Standardowy błąd wartości średniej

4.2. Analiza wariancji

W celu formalnej analizy istotności uzyskanych eksperymentalnie różnic przeprowadzono dwie jednoczynnikowe analizy wariancji oddzielnie dla małych i dużych elementów składowych interfejsu. Zestawienie uzyskanych wyników zostało umieszczone w tabelach 2 i 3.

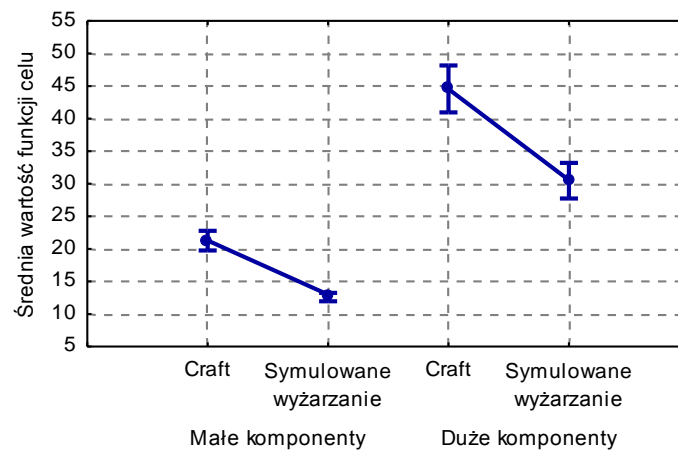
Tabela 2. Uzyskane wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji dla interfejsu zawierającego małe komponenty

Czynnik	Suma kw.	St. sw.	Średnia suma kw.	F	p
Rodzaj algorytmu	1127	1	1127	116,5	< 0,00001
Błąd	561	58	9,7		

Tabela 3. Uzyskane wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji dla interfejsu zawierającego duże komponenty

Czynnik	Suma kw.	St. sw.	Średnia suma kw.	F	p
Rodzaj algorytmu	2982	1	2982	40,7	< 0,00001
Błąd	4255	58	73		

Uzyskane wyniki w postaci średnich wartości funkcji celu dla badanych wariantów interfejsów zostały zilustrowane na rys. 4.



Rys. 4. Średnie wartości funkcji celu dla wszystkich analizowanych wariantów eksperymentalnych. Wąsy oznaczają 95% przedziały ufności dla średnich wartości funkcji celu

Zaprezentowane analizy pokazują jednoznacznie istotną przewagę rozwiązań uzyskiwanych za pomocą proponowanego algorytmu, nad rozwiązaniami uzyskanymi w eksperymencie za pomocą klasycznej wersji algorytmu CRAFT dla tych samych danych.

5. PODSUMOWANIE I KONKLUZJE

Przedstawione rezultaty eksperymentów pokazały obiecujące właściwości proponowanego podejścia. Po pierwsze wyniki porównania rezultatów symulowanego wyżarzania wskazują na supremację tego algorytmu nad klasyczną wersją metodyki CRAFT w zastosowaniu do tych samych struktur danych. Chociaż na wykresach z rys. 4 i w tabeli 1. można zauważyć prawdopodobny spadek (mierzony procentowym przyrostem jakości rozwiązań średnich) przewagi techniki symulowanego wyżarzania dla większych zadań. Ponadto w przeprowadzonej serii eksperymentów dla dużych komponentów zdarzały się błędy (podział komponentów na części odseparowane) w rozwiązaniach uzyskiwanych za pomocą CRAFTa, a nie było takich przypadków dla symulowanego wyżarzania.

Badania mają oczywiście charakter wstępnego pilotażu i wymagają dalszych potwierdzeń. Jednym z kierunków jaki zamierzają podjąć autorzy w tej mierze jest weryfikacja w oparciu o rzeczywiste przypadki paneli sterowniczych i porównanie rezultatów działania przedstawionej propozycji z innymi podejściami. Szczególnym aspektem przyszłych badań powinna też być systematyczna analiza innych, możliwych modeli powiązań obiektów sztucznych i jej wpływ na jakość uzyskiwanych rozwiązań.

PODZIĘKOWANIA

Praca została częściowo finansowo wsparta w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki numer: UMO-2011/03/B/ST8/06238.

LITERATURA

- [1] Bonney H.M., Williams R.W., CAPABLE: A computer program to layout controls and panels. *Ergonomics*, 20, 1977, 297-316.
- [2] Buffa E.S., Armour G.C., & Vollmann T.E., Allocating Facilities with CRAFT. *Harvard Business Review*, 42(2), 1964, 136-158.
- [3] Gavett J.W., Plyter N.V., The optimal assignment of facilities to locations by branch and bound, *Operations Research* 14, 1966, 210-232.

- [4] Hani Y., Amodeo L., Yalaoui F., Chen H., Ant colony optimization for solving an industrial layout problem, *European Journal of Operational Research*, 183(2), 2007, 633-642.
- [5] Heragu S.S., & Alfa A.S., Experimental analysis of simulated annealing based algorithms for the layout problem. *European Journal of Operational Research*, 57(2) 1992, 190-202. doi:10.1016/0377-2217(92)90042-8.
- [6] Kirkpatrick S., Gelatt C.D., & Vecchi M.P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220 (4598), 671-680. doi:10.1126/science.220.4598.671.
- [7] Kusiak A., & Heragu S.S., The facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, 29(3), 1987, 229-251. doi:10.1016/0377-2217(87) 90238-4.
- [8] McCormick E.J., *Human Factors in Engineering and Design*. Mc Graw-Hill, New York, 1976.
- [9] Sargent T.A., Kay M.G., Sargent R.G., A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator. *Human Factors*; Sep 1997; 39, 3.
- [10] Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
- [11] Shengyuan Y. Chen Y., Chen W., An Intelligent Algorithm method of Element Layout Priority Sequence on Console's Human Machine Interface. *Advanced Materials Research*, 2013, Vols. 712-715.
- [12] Singh S.P., & Sharma R.R.K., A review of different approaches to the facility layout problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, 30(5-6), 425-433. doi:10.1007/s00170-005-0087-9.
- [13] Singh S.P., & Sharma R.R.K., Two-level modified simulated annealing based approach for solving facility layout problem. *International Journal of Production Research*, 2008, 46(13), 3563-3582. doi:10.1080/00207540601178557.
- [14] Tompkins J.A. White J.A. Bozer J.A., Tanchoco J. M. A., *Facilities Planning* (Fourth Edition) John Wiley & Sons, 2010.
- [15] Wierwille W.W., *Statistical techniques for instrument panel arrangement in Manned Systems Design*, NATO Conference Series, Human Factors, 1980.
- [16] Wilhelm, M.R., & Ward, T.L. Solving Quadratic Assignment Problems by 'Simulated Annealing'. *IIE Transactions*, 1987, 19(1), 107-119. doi:10.1080/0740817870 8975376

APPLICATION OF FACILITIES LAYOUT ALGORITHMS TO HUMAN-MACHINE INTERFACE OPTIMIZATION

Summary

The work presents the concept of applying a simulated annealing algorithm to human-computer interface optimization. The essence of this proposal lies in taking into account criteria deciding about the ergonomic quality of the signaling and control panel within the simulated annealing perspective. Moreover, a simple concept of mapping objects' sizes to the modular grid by means of artificial elements connected with each other in a specific way has been proposed. The effectiveness of this approach has been shown in simulation experiments involving interfaces that included components of various geometrical dimen-

sions. The examination included also CRAFT methodology. The comparison of our version of the algorithm with the classical CRAFT methodology is promising and inclines for further developing this approach and investigating its properties.

Keywords: ergonomics, interface design, placement of objects on the plane, CRAFT, simulated annealing.

<http://zeszyty.fem.put.poznan.pl/>