

적응형 유전알고리즘을 이용한 사용자 인터페이스 설계 방법 개발

정기효[†]

울산대학교 산업경영공학부

Development of an User Interface Design Method using Adaptive Genetic Algorithm

Kihyo Jung

School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

The size and layout of user interface components need to be optimally designed in terms of reachability, visibility, clearance, and compatibility in order for efficient and effective use of products. The present study develops an ergonomic design method which optimizes the size and layout of user interface components using adaptive genetic algorithm. The developed design method determines a near-optimal design which maximizes the aggregated score of 4 ergonomic design criteria (reachability, visibility, clearance, and compatibility). The adaptive genetic algorithm used in the present study finds a near-optimum by automatically adjusting the key parameter (probability of mutation) of traditional genetic algorithm according to the characteristic of current solutions. Since the adaptive mechanism partially helps to overcome the local optimality problem, the probability of finding the near-optimum has been substantially improved. To evaluate the effectiveness of the developed design method, the present study applied it to the user interface design for a portable wireless communication radio.

Keywords: User Interface Optimization, Ergonomic User Interface Design, Ergonomic Layout Design, Adaptive Genetic Algorithm, Portable Wireless Communication Radio

1. 서론

사용자 친화적인 제품(user-friendly product)을 개발하기 위해서는 사용자와 상호작용이 이루어지는 사용자 인터페이스(user interface)를 인간공학적으로 설계하는 것이 중요하다. 사용자 친화적인 제품은 제품의 시장 경쟁력 향상과 긍정적 기업 이미지 형성에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다(Daruis *et al.*, 2011; Tangsoc and Ponio, 2009; Lee *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2008; You, 2007). 이러한 사용자 친화적인 제품은 직관적이고 사용이 편리한 사용자 중심의 인터페이스를 구비하고 있다(You *et al.*, 2008). 사용자 중심의 인터페이스는 제품 사용자의 인지적

(예: 양립성) 및 신체적(예: 도달성) 특성을 고려해 설계되고 있다(Jung *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2010).

사용자 인터페이스는 4가지 대표적인 인간공학적 척도(시계성, 도달성, 여유성, 그리고 양립성)를 적용하여 설계되고 있다. Jung *et al.*(2010)와 Lee *et al.*(2010b)는 헬리콥터 조종석과 방폐장 주제어실의 사용자 인터페이스 설계에 시계성(visibility), 도달성(reachability), 여유성(clearance)과 같은 신체적 특성을 고려하였다. 또한, Lamkull *et al.*(2009)과 Reed and Roosmalen (2005)은 작업공간과 휠체어 인터페이스의 사용성 평가에 시계성, 도달성, 그리고 여유성을 적용하였다. 한편, Liu and Jhuang (2012), Nilsson(2009), Finch *et al.*(2008), 그리고 Kessler and

이 논문은 2011년 울산대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

[†] 연락저자 : 정기효 박사, 680-749 울산광역시 남구 대학로 93 울산대학교 산업경영공학부, Fax : 052-259-2180, E-mail : kjung@ulsan.ac.kr
2012년 2월 1일 접수; 2012년 5월 3일 수정본 접수; 2012년 5월 29일 게재 확정.

Knapen(2006)는 사용자 인터페이스 설계 및 평가에 양립성(compatibility)을 고려하였다.

사용자 인터페이스 최적설계를 위해서는 상기 4가지의 인간공학 설계 척도들에 대한 절충 최적해(compromising solution)를 구하는 것이 필요하다. 예를 들면, 표시장치의 시계성을 높이기 위해 표시장치의 크기를 증가시키면 다른 인터페이스 요소(예 : 입력 버튼)의 크기가 작아져 도달성과 여유성이 저하된다. 또한, 인터페이스 요소의 여유성을 높이기 위해 인터페이스 요소들 간의 여유 공간을 증가시키면 인터페이스 요소들의 크기가 줄어들어 시계성과 도달성이 낮아진다. 따라서 최적의 사용자 인터페이스 설계를 위해서는 4가지 설계 척도들을 절충한 다변량 근사 최적해(near-optimum)를 탐색하는 것이 필요하다.

다변량 척도들을 절충한 근사 최적해는 유전알고리즘(genetic algorithm)을 적용하여 탐색할 수 있다. 유전알고리즘은 자연계에서 발견되는 생물체의 진화현상(biological process of evolution)을 모방한 최적화 기법이다(Kim and Yum, 2010; Mitchell, 1996; Rardin, 1998). 유전알고리즘의 근간이 되는 다윈의 진화론에 따르면 자연계의 생명체는 여러 세대를 거치면서 적자생존(natural selection) 및 유전자 상속(genetic inheritance)을 통해 보다 좋은 방향으로 진화하게 된다(Pongcharoen *et al.*, 2008; Joo and Kim, 2011). 유전알고리즘은 이러한 자연계의 진화현상을 컴퓨터 알고리즘으로 차용한 선택(selection), 교차(crossover), 그리고 돌연변이(mutation)를 통해 만족스런 다변량 근사 최적해를 진화적으로 탐색한다.

본 연구는 적응형 유전알고리즘(adaptive genetic algorithm)을 이용해 사용자 인터페이스를 설계하는 방법을 개발하였다. 본 연구의 사용자 인터페이스 설계 방법은 적응형 유전알고리즘을 활용하여 4가지 인간공학적 설계 척도들을 절충한 근사 최적설계를 탐색할 수 있다. 본 연구의 적응형 유전알고리즘은 탐색된 중간 최적해의 특성을 고려해 유전알고리즘의 파라미터(parameter)를 능동적으로 조절하여 보다 우수한 해를 탐색할 수 있게 한다. 본 연구는 제한된 인터페이스 설계 방법의 유용성을 평가하기 위해 휴대형 무선통신 시스템의 사용자 인터페이스 설계에 적용하였다.

2. 사용자 인터페이스 설계 방법

2.1 최적화 모델

사용자 인터페이스 설계를 위한 최적화 모델은 식 (1)에 나타난 것과 같이 4가지 설계 척도(시계성, 도달성, 여유성, 그리고 양립성)를 최대화하도록 구성된다. 첫째, 시계성(visibility)은 사용자가 얼마나 편리하게 표시장치를 시각적으로 볼 수 있는지를 나타내는 척도이다(Lee *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2010; Lai and Huang, 2008; Chaffin *et al.*, 2001). 시계성은 표시장치가 클수록 표시되는 시각 정보의 크기가 커져서 증가하는 반면, 표시장치가 작아지면 표시되는 시각 정보의

크기가 작아져 인식이 어렵거나 오인될 수 있어 감소한다. 따라서 시계성 점수는 표시장치의 크기가 증가할수록 높아지는 <Figure 1>(a)와 같은 선형함수를 이용하여 정량화된다.

$$max (w_1 \times VI) + (w_2 \times RE) + (w_3 \times CL) + (w_4 \times CO) \quad (1)$$

s.t. design space constraints
(all components should be placed within designated space)

$$\sum_{i=1}^4 w_i = 1$$

$$0 \leq VI \leq 100, 0 \leq RE \leq 100,$$

$$0 \leq CL \leq 100, 0 \leq CO \leq 100$$

where : VI= visibility score

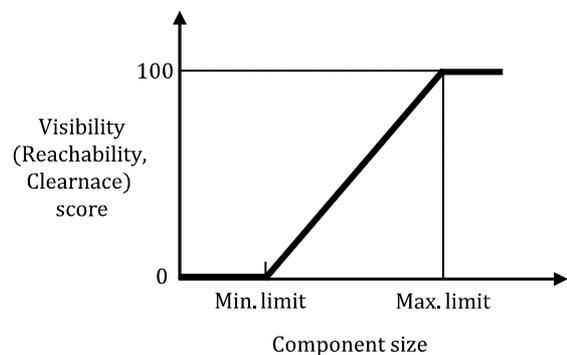
RE= reachability score

CL = clearance score

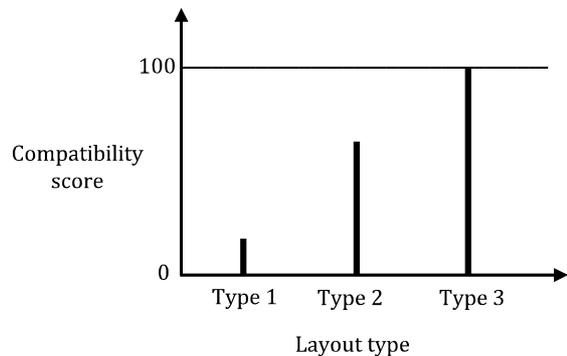
CO= compatability score

w_i = weight of ith measure

둘째, 도달성(reachability)은 사용자가 얼마나 편리하게 장치에 도달 및 조작할 수 있는지를 나타내는 척도이다(Jung *et al.*, 2010). 도달성은 조작장치의 크기가 증가할수록 도달 및 조작이 용이하고, 반대로 조작장치의 크기가 작아지면 도달하거나 누르기 어려워진다. 한편, 조작장치의 도달성 점수는 조작장



(a) physical criteria(visibility, reachability, and clearance)



(b) compatibility

Figure 1. Quantification scheme for ergonomic design criteria

치와 상호작용이 일어나는 신체부위(예: 손가락)의 크기와 연관(Eksioğlu, 2004)이 있기 때문에 조작장치의 크기가 일정수준 이상이 되면 수렴하게 된다. 본 연구의 도달성 점수는 조작장치의 크기가 증가할수록 높아지는 <Figure 1>(a)와 같은 선형함수를 이용하여 정량화된다.

셋째, 여유성(clearance)은 사용자들이 조작해야 하는 장치들 간의 여유 공간이 충분한가를 나타내는 척도이다(Jung et al., 2010). 여유성 점수는 조작장치들 간의 여유 공간이 클수록 인적 오류를 유발할 가능성이 줄어들어 증가하고, 반대로 여유 공간의 크기가 작아지면 조작 실수와 같은 인적 오류를 유발할 수 있어 증가한다. 본 연구의 여유성 점수는 인터페이스 설계 요소들 간의 여유 공간이 증가할수록 높아지는 <Figure 1>(a)의 선형함수를 이용하여 정량화된다.

마지막으로, 양립성(compatibility)은 조작장치 및 표시장치 사용자들의 기대와 일치하는 정도를 나타내는 척도이다(Wickens et al., 2004). 조작장치 및 표시장치는 직관적으로 사용할 수 있도록 사용자들의 기대에 부합하도록 설계 및 배치되어야 한다(Chan and Chan, 2009; Chan and Chan, 2003). 예를 들면, 숫자입력장치는 사용자들의 일반적인 기대(양립성)와 일치하도록 키보드 배열 방식 또는 계산기 배열 방식으로 설계되어야 한다(Marteniuk et al., 1996). 본 연구의 양립성 점수는 조작장치 및 표시장치의 설계 및 배치 형태에 따라 <Figure 1>(b)와 같은 단속 함수(discrete function)를 이용하여 정량화된다.

2.2 적응형 유전알고리즘

본 연구의 적응형 유전알고리즘은 <Figure 2>에 나타난 것과 같은 6단계를 진화적으로 반복하여 인터페이스를 설계한다. 첫째 단계는 난수 생성을 통해 초기인구집단(initial population)을 생성한다. 생성된 초기인구집단은 무작위로 생성된 난수를 이용해서 결정되기 때문에 최적화 모델의 제약조건식 (1 참조)을 위반할 수 있다. 따라서 본 연구의 유전알고리즘은 생성된 초기인구 집단에 대한 사후 분석을 통해 제약조건을 만족하지 않는 대안을 제거한 후 다시 생성한다.

둘째 단계는 자손 생성을 통해 진화된 다음세대를 구성하기 위해 인구집단에서 자손을 생성할 부모집단(parents)을 선택한다. 부모집단 선택은 적자생존(survival of fittest; Mitchell, 1996)을 통한 자연계의 진화를 모방하기 위해 인구집단에서 성능이 우수한 대안을 상대적으로 높은 빈도로 선택하는 룰렛 선택법(Roulette Wheel selection; Rardin, 1998)을 적용해 이루어진다. 예를 들면, 인구집단($n = 5$)에 포함된 설계대안의 성능이 각각 5점, 10점, 15점, 30점, 40점이라면, 룰렛 선택법은 각 설계대안의 채택 확률을 성능에 비례하게 5%, 10%, 15%, 30%, 40%로 설정함으로써 높은 성능을 가진 설계대안이 보다 높은 빈도로 부모집단에 선택되게 한다.

셋째 단계는 형성된 부모집단 내 설계대안들 간의 교배(crossover)를 통해 자손집단(offspring)을 생성한다. 교배는 우수한

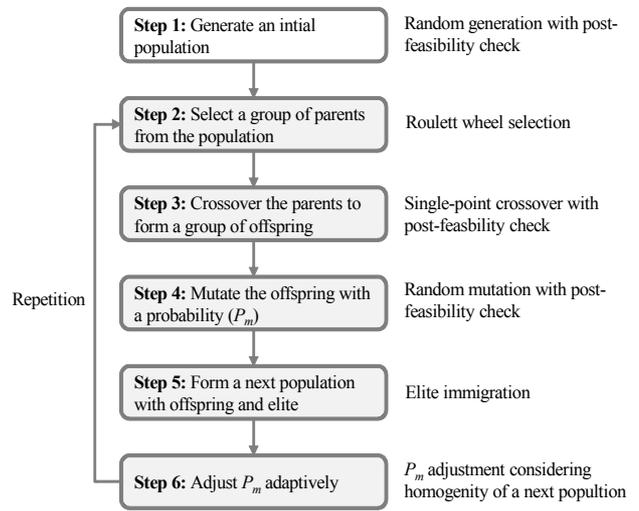


Figure 2. Process of adaptive genetic algorithm

형질을 가지는 부와 모의 유전자를 서로 교환하여 보다 진화된 자손들을 생성하게 한다(Mitchell, 1996; Rardin, 1998). 본 연구의 교배는 <Figure 3>에 예시적으로 나타낸 것과 같이 두 개의 설계대안(부와 모)을 무작위로 선택된 1개의 지점을 기준으로 교배하여 두 명의 자손을 생성하는 한 점 교차 방법(single-point crossover)을 적용해 이루어진다.

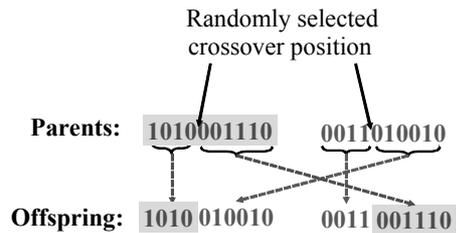


Figure 3. Example of single point crossover

넷째 단계는 교배를 통해 생성된 자손집단에 지정된 확률로 돌연변이(mutation)를 일으킨다. 돌연변이는 부모의 유전자가 자손에게 상속(복사)될 때 발생하는 자연계의 일반적인 현상으로 진화를 유발하는 메커니즘 중 하나로 알려지고 있다(Mitchell, 1996; Rardin, 1998). 본 연구의 돌연변이는 기존 연구를 참고(Bekiroglu et al., 2009; Lee et al., 2011a)하여 인구집단의 특성에 따라 적응적으로 돌연변이 발생 확률(probability of mutation; P_m)을 조절(증가/감소)하는 메커니즘을 포함하고 있다.

다섯째 단계는 생성된 자손집단과 엘리트집단으로 다음 세대의 인구집단을 구성한다. 엘리트집단(elite group)은 현재 세대의 인구집단에서 성능이 우수한 설계대안으로써 진화를 통해 보다 우수한 자손을 생성할 가능성이 높다. 이러한 엘리트 집단의 활용은 유전알고리즘의 성능을 혁신적으로 개선할 수 있는 것으로 알려지고 있다(Summanwar et al., 2002). 본 연구의 유전알고리즘은 기존 유전알고리즘(Kellegoz et al., 2010; Datta

et al., 2011)을 참고하여 생성된 자손집단에서 성능이 낮은 설계대안을 엘리트집단으로 대체하여 다음 세대의 인구집단을 구성한다.

마지막 단계는 생성된 자손집단의 동질성(homogeneity) 분석을 통해 돌연변이 확률(P_m)을 자율적으로 조절한다. 이러한 적응형 알고리즘은 지역 최적해에 고착되어 자손집단의 동질성이 극단적으로 높아져 진화가 발생하지 않는 유전알고리즘의 한계를 해결할 수 있는 것으로 알려지고 있다(Yun, 2006). 본 연구의 적응형 알고리즘은 식 (2)에 나타난 것과 같이 자손집단의 동질성을 나타내는 지표(P_m)가 증가하면 돌연변이 확률을 증가시키고, 반대로 자손집단의 동질성이 감소하면 돌연변이 확률을 감소시킨다.

본 연구의 적응형 유전알고리즘에 대한 수도(pseudo) 알고리즘은 <Figure 4>에 나타난 것과 같다. <Figure 4>의 t 는 유전알고리즘의 진화 횟수를 나타내며, t_{max} 는 최대 진화 횟수를 나타낸다. $P(t)$ 는 t 세대의 인구집단 또는 부모집단을 나타내며, P_m 은 돌연변이가 발생 확률을 의미한다.

$$P_m = \min\{1, (1 \div s)\} \quad (2)$$

where : P_m = probability of mutation
 s = standard deviation of offspring's fitness

```

t = 0;
initialize P(t);
do {
    t = t+1;
    Select P(t) from P(t-1) by Roulette Wheel method;
    Generate O(t) from P(t) by single-point
    crossover method;
    Alter O(t) with P_m;
    Replace P(t) with O(t) and elites;
    Change P_m according to homogeneity of P(t);
} until(t = t_max)
}

```

Figure 4. Pseudo code for adaptive genetic algorithm

3. 적용 사례 : 휴대형 무선통신 시스템의 사용자 인터페이스 설계

3.1 설계 대상 사용자 인터페이스

본 연구는 제안된 설계 방법(제2장 참조)의 효용성을 평가하기 위해 휴대형 무선통신 시스템의 인터페이스 설계에 적용하

였다. 휴대형 무선통신 시스템은 <Figure 5>에 나타난 것과 같이 군인이 야전에서 사용하는 소형의 통신장비로써, 최근 들어 미국(Wikipedia, 2012)과 우리나라(LIG Next1, 2012)에서 차세대 통신기술(예 : mobile ad-hoc network)을 적용하여 개발하고 있다. 휴대형 무선통신 시스템은 휴대가 용이하도록 소형 및 경량화 되고 있어 사용자 인터페이스를 설계 및 배치할 수 있는 공간이 협소하다. 또한, 휴대형 무선통신 시스템은 통신 성능 향상을 위해 첨단 기술이 집적되고 소요군의 다양한 전장 요구 기능(예 : 통신채널 선택, IP 주소 입력)이 반영되면서 사용자 인터페이스 설계요소들이 증가하고 있다. 그로 인해, 통신시스템의 운용에 필요한 다양한 사용자 인터페이스를 제한된 설계 공간에 최적으로 설계 및 배치하는 것이 중요해지고 있다.

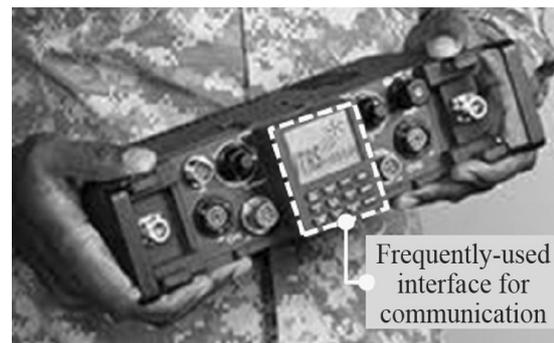


Figure 5. Joint-tactical radio system(JTRS)(Navi Gadget, 2008)

휴대형 무선통신 시스템의 주요 사용자 인터페이스는 <Figure 6>에 나타난 것과 같이 3가지 유형(표시장치, 입력장치, 여유 공간)의 7개 설계변수(design dimension)로 구성된다. 먼저, 표시장치 설계변수는 너비변수(DW, display width)와 높이변수(DH, display height)로 구성된다. 입력장치 설계변수는 너비변수(BW, button width), 높이변수(BH, button height), 그리고 배열변수(BL, button layout)로 구성된다. 미국(JTRS)과 우리나라(TMMR)의 휴대형 무선통신 시스템은 공히 12개(숫자버튼 = 10개, 검색버튼 = 2개)의 버튼을 사용하고 있다. 마지막으로, 여유 공간에 대한 설계변수는 표시장치와 입력장치 간의 공간변수 1종(DBH, display-button space height)과 입력장치 간의 공간변수 2종(BBW, button-button space width; BBH, button-button space height)으로 구성된다.

본 연구는 제안된 설계 방법의 효율적인 적용을 위해 4가지 사항을 가정하였다. 첫째, 인터페이스 설계 가능 영역의 크기(가로×세로)는 100mm×100mm로 설정되었다. 둘째, 표시장치와 입력장치의 모양은 동일하게 사각형으로 가정되었다. 셋째, 입력장치의 버튼 크기와 여유 공간은 모든 버튼에 대해 동일한 것으로 가정되었다. 마지막으로, 입력장치의 버튼 배열(BL)은 인간공학적 배열 원칙(sequence-of-use, functional clustering)과 기존 연구의 결과(Lutz and Alphonse, 1955; Conrad and Hull, 1968)를 참고하여 <Figure 7>과 같이 3가지(2×6배열, 3×4배열, 4×3배열) 대안 중에서 선택되도록 하였다.

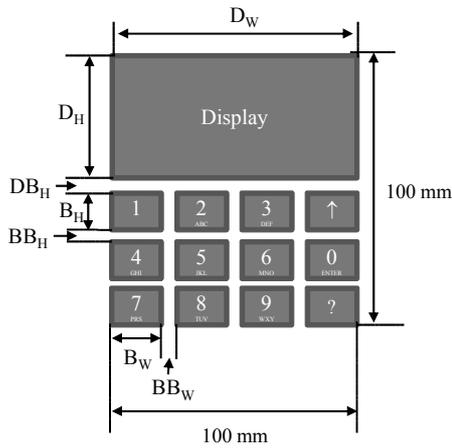


Figure 6. Interface design dimensions of portable wireless communication radio (D : Display, B : Button, DB : Display-to-Button, BB : Button-to-Button, W : Width, H : Height)

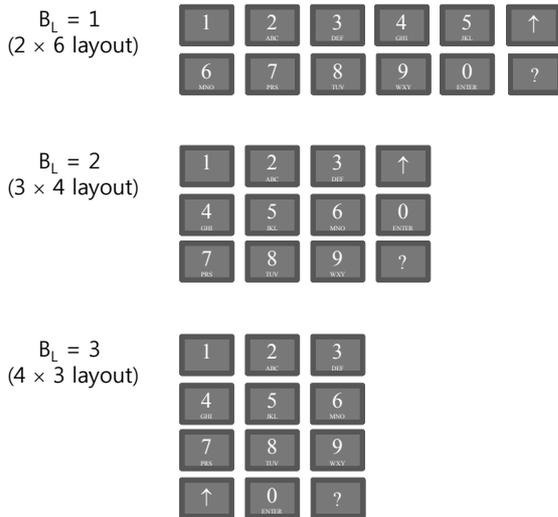


Figure 7. Layout candidates for input buttons

3.2 최적화 모델

사용자 인터페이스 최적화를 위한 목적 함수(objective function)는 4가지 인간공학 설계 척도들(시계성, 도달성, 여유성, 그리고 양립성)에 대한 가중 평균 점수를 최대화하도록 식 (3-1)과 같이 설정되었다. 시계성 척도에 대한 점수(VI)는 표시 장치의 화면이 클수록 점수가 증가하는 식 (3-2)를 사용하여 정량화되었다. 도달성 척도에 대한 점수(RE)는 입력버튼의 면적이 클수록 점수가 증가하는 식 (3-3)을 이용하여 정량화 되었으며, 여유성 척도에 대한 점수(CL)는 구성요소 간의 공간이 커질수록 증가하는 식 (3-4)를 이용하여 정량화되었다. 마지막으로, 양립성 척도에 대한 점수(CO)는 입력버튼의 배열 형태에 따라 3등급(2행 배열 = 60점, 3행 배열 = 80점, 그리고 4행 배열 = 100점)으로 정량화되었다.

목적 함수의 4가지 척도에 대한 점수들은 가중 평균으로 통합

될 수 있도록 표준화(0~100)되었다. 예를 들면, 도달성(RE)은 설계가 가능한 최소 버튼 크기(B_W^{min} , B_H^{min})와 최대 크기(B_W^{max} , B_H^{max})를 적용하여 표준화되었다. 표준화를 위한 최소 크기와 최대 크기는 유사 인터페이스(컴퓨터 키보드, 전화기, 공학계산기, 휴대전화)에 대한 실측치에 여유크기를 빼거나 더하여 설정되었다. 예를 들면, 버튼에 대한 최소 너비(B_W^{min})와 높이(B_H^{min})는 유사 인터페이스의 너비(8~20mm)와 높이(5~15mm)의 최소값에 여유크기(3mm)를 빼서 5mm와 2mm로 설정되었고, 최대 너비(B_W^{max})와 높이(B_H^{max})는 유사 인터페이스의 최대 버튼 크기에 군용 장갑 여유(10mm)를 고려하여 30mm와 25mm로 설정되었다.

인터페이스 구성요소의 정렬(alignment)을 위해 표시장치(D_x , D_y)와 입력장치(B_x , B_y)가 화면 중앙(C_x , C_y)에서부터 배치될 수 있도록 식 (3-6)~식 (3-9)와 같이 제약되었다. 식 (3-6)을 예로 들면, 표시장치의 x축 위치(D_x)는 표시장치가 인터페이스 설계 영역의 중앙에 배치되도록 인터페이스 설계 영역의 x축 중앙값(C_x)에 표시장치의 너비(D_W) 절반을 빼서 결정되었다.

표시장치와 입력버튼이 차지하는 공간은 인터페이스의 설계 가능 공간(100mm×100mm)보다 작도록 식 (3-10)과 식 (3-11)과 같이 제약되었다. 식 (3-10)을 예로 들면, 표시장치와 입력버튼이 차지하는 높이(표시장치 높이(D_H)+표시장치와 입력장치 간의 여유 공간 높이(DB_H)+전체 입력장치의 높이($B_H \times (B_L + 1)$)+입력장치 간의 여유 공간 높이($BB_H \times B_L$))는 설계 가능 공간 (100mm)보다 작게 되도록 제약되었다.

3.3 적응형 유전알고리즘 기반 설계 시스템

본 연구는 MATLAB(R2011b, MathWorks Inc., USA)을 이용하여 휴대형 무선통신 시스템의 사용자 인터페이스 설계에 특화된 적응형 유전알고리즘 기반 설계 시스템을 <Figure 8>과 같이 개발하였다. 개발된 시스템은 유전알고리즘의 주요 입력값(예 : 인구집단 크기, 진화 세대 횟수)을 변경할 수 있도록 설계 되었으며 근사 최적해를 탐색하는 과정과 최종 인터페이스 설계 결과를 그림으로 시각화하도록 개발되었다.

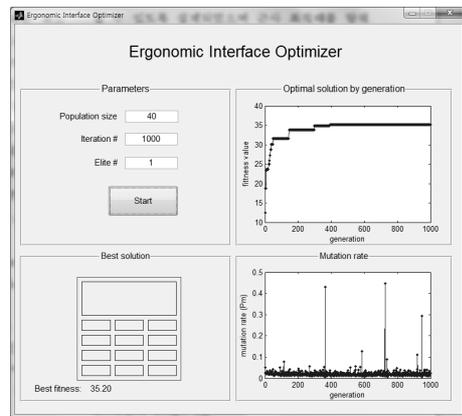


Figure 8. Design supporting system for portable wireless communication radio based on the developed design algorithm

$$\max (0.25 \times VI) + (0.25 \times RE) + (0.25 \times CL) + (0.25 \times CO) \quad (3-1)$$

$$s.t. VI = \frac{(D_W \times D_H) - (D_W^{\min} \times D_H^{\min})}{(D_W^{\max} \times D_H^{\max}) - (D_W^{\min} \times D_H^{\min})} \times 100 \quad (3-2)$$

$$RE = \frac{B_W \times B_H - B_W^{\min} \times B_H^{\min}}{(B_W^{\max} \times B_H^{\max}) - (B_W^{\min} \times B_H^{\min})} \times 100 \quad (3-3)$$

$$CL = \min\{\min(BB_W, BB_H, DB_H) / S^{\max}, 1\} \times 100 \quad (3-4)$$

$$CO = 40 + B_L \times 20 \quad (3-5)$$

$$D_X = C_X - D_W \div 2 \quad (3-6)$$

$$D_Y = C_Y - (D_H + DB_H + B_H \times (B_L + 1) + BB_H \times B_L) \div 2 \quad (3-7)$$

$$B_X = C_X - \{B_W \times (2 + 2^{3-B_L}) + BB_W \times (1 + 2^{3-B_L})\} \div 2 \quad (3-8)$$

$$B_Y = D_Y + D_H + DB_H \quad (3-9)$$

$$D_H + DB_H + B_H \times (B_L + 1) + BB_H \times B_L \leq 100 \quad (3-10)$$

$$B_W \times (2 + 2^{3-B_L}) + BB_W \times (1 + 2^{3-B_L}) \leq 100 \quad (3-11)$$

$$0 \leq D_W \leq 100, 0 \leq D_H \leq 100, 0 \leq D_X \leq 100, 0 \leq D_Y \quad (3-12)$$

where : VI = visibility score

RE = reachability score

CL = clearance score

CO = compatibility score

D_W = width of display

D_H = height of display

D_W^{\min} = minimally required width(50mm) of display

D_W^{\max} = maximum possible width(100mm) of display

D_H^{\min} = minimally required height(20mm) of display

D_H^{\max} = maximum possible height(100mm) of display

B_W = width of button

B_H = height of button

B_W^{\min} = minimally required width(5mm) of button

B_W^{\max} = maximum possible width(30mm) of button

B_H^{\min} = minimally required height(2mm) of button

B_H^{\max} = maximum possible height(25mm) of button

BB_W = width of clearance space between buttons

BB_H = height of clearance space between buttons

DB_H = height of clearance space between display and button

S^{\max} = maximum clearance space(20mm) between objects

B_L = layout type of buttons

D_X = horizontal position of display

D_Y = vertical position of display

B_X = horizontal position of button

B_Y = vertical position of button

C_X = horizontal position of centroid of interface

C_Y = vertical position of centroid of interface

개발된 유전알고리즘의 유전자 체계(chromosome coding)는 <Figure 9>에 나타난 것과 같이 설계변수에 대응되는 9개의 유전자 형질을 가지도록 설정되었다. 각 유전자 형질은 설계변수의 값을 나타낼 수 있도록 3자리의 정수로 구성되었다. 예를 들면, <Figure 9>의 첫 번째 3자리 유전자는 표시장치 너비(D_W)에 대한 설계치수를 나타내며, 그 다음 3자리 유전자는 표시장치 높이(D_H)에 대한 설계치수를 나타낸다.

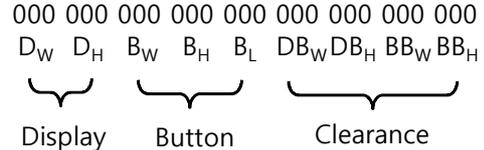


Figure 9. Gene coding(Refer to the equation 1 & 2 for the abbreviations)

3.4 결과

본 연구는 개발된 설계 지원 시스템의 2가지 입력변수 (인구 집단 크기, 진화 횟수)를 다양하게 변화시켜가면서 인터페이스를 설계하였다. 먼저, 인구집단 크기는 4수준(20, 40, 60, 80)으로 설정되었고, 진화 횟수는 5수준(100, 500, 1000, 5000, 10000)으로 설정되었다. 또한, 신뢰성 높은 최적화 결과를 도출하기 위해 실험처리(condition)별 5회 반복 시행하였다. 실험 결과는 유의수준 0.05에서 MINITAB 16(Minitab Inc., USA)의 이원분산분석(two-way ANOVA)과 Bonferroni 사후검정 기법을 사용하여 분석되었다.

분산분석 결과, 인구집단 크기와 진화 횟수에 대한 주효과가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 인구집단 크기는 증가 할수록 근사 최적해의 성능이 <Figure 10>(a)와 같이 높아지나 ($F(3, 80) = 4.32, p = 0.007$), 인구집단의 크기가 40(31.2 ± 0.8), 60(32.7 ± 0.8), 그리고 80(31.4 ± 0.7)인 경우는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 진화 횟수는 증가 할수록 근사 최적해의 성능이 <Figure 10>(b)와 같이 높아지나 ($F(4, 80) = 6.81, p < 0.001$), 진화 횟수가 5,000(32.8 ± 0.7)과 10,000(32.3 ± 0.7)인 경우는 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

다양한 조건에 대해 반복 실험결과들($n = 100$) 중에서 가장 우수한 인터페이스 설계(종합 인간성능 점수 = 35.2)는 <Figure 11>에 나타난 것과 같다. 가장 우수한 인터페이스의 화면 크기는 100mm(D_W) \times 44mm(D_H)이며, 버튼 크기는 30mm(B_W) \times 9mm(B_H)인 것으로 파악되었다. 또한, 인터페이스의 버튼 배열은 4 \times 3배열로 나타났으며, 여유 공간 크기는 5mm(DB_H), 5mm(BB_W), 5mm(BB_H)로 나타났다.

본 연구의 유전알고리즘은 <Figure 12>에 나타난 것과 같이 근사 최적해를 안정적으로 탐색하는 것으로 나타났다. <Figure 12>를 예로 들면, 근사 최적해의 성능은 진화초기(0~200세대)에 급격히 증가한다. 그리고 난 후, 일정 후속세대 동안(200~500

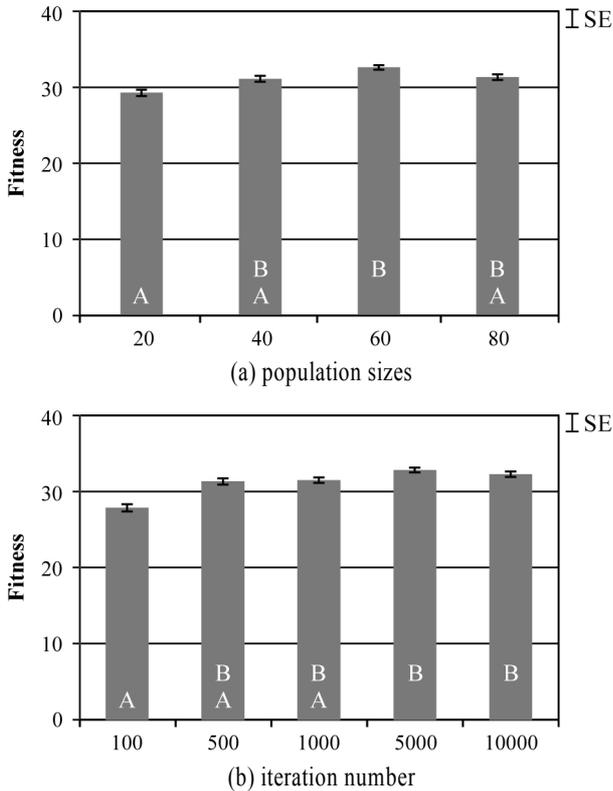


Figure 10. Effects of population size and iteration (evolution) number

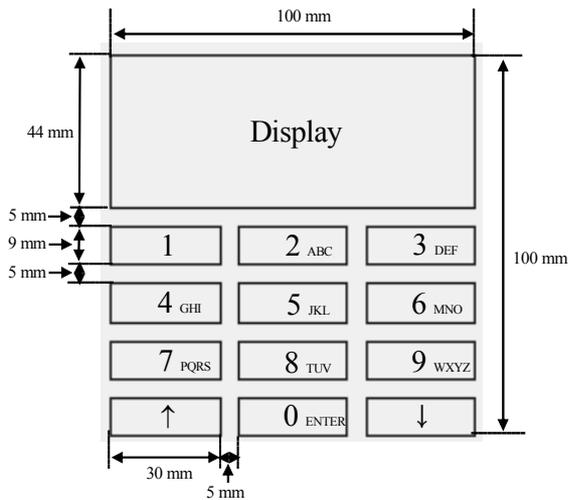


Figure 11. Optimal design for portable wireless communication radio

세대) 완만한 증가를 보이다가 충분한 진화(약 500세대)를 거치고 나면 근사 최적해 부근에 수렴하기 시작한다. 한편, 진화가 어느 정도 이루어지고 나면 돌연변이 확률이 일시적으로 높아지는 경향이 나타난다. 이러한 돌연변이 확률의 일시적 상승은 지역최적해에 도달하였을 때 보다 우수한 해를 탐색하기 위해 나타나는 적응형 유전알고리즘의 특성이다. 돌연변이 확률의 상승은 동질성이 높아진 인구집단의 구성원을 대거 변이시킴으로써 지역최적해를 벗어나 보다 우수한 해를 탐색할 수 있게 한다.

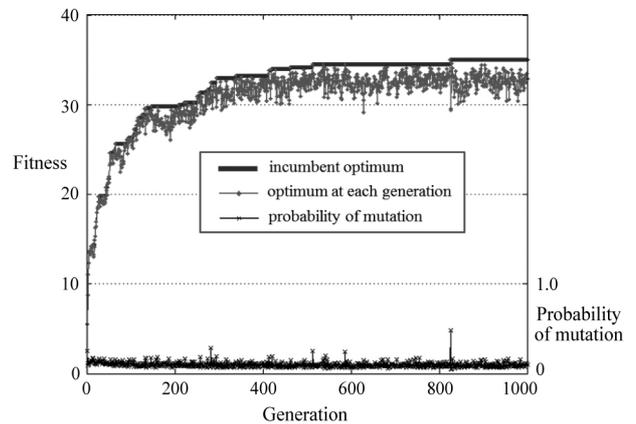


Figure 12. Trend in performances of the adaptive genetic algorithm

4. 토의 및 결론

본 연구는 적응형 유전알고리즘을 이용한 인간공학적 사용자 인터페이스 설계 방법을 개발하였다. 본 연구의 설계 방법은 제한된 인터페이스 설계 영역에 다양한 인터페이스 구성요소 (예: 버튼, 표시장치)를 설계 및 배치할 수 있다. 또한, 본 연구의 설계 방법은 보다 좋은 해를 탐색할 수 있게 도와주는 적응형 메커니즘을 포함하여 우수한 근사 최적해를 탐색할 수 있다 (Kim and Lee, 2011; Yun, 2006). 본 연구의 설계 방법은 사용자 친화적인 인터페이스 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 설계 방법은 4가지 인간공학 척도(시계성, 도달성, 여유성, 양립성)가 중요한 설계 기준인 경우에만 유용하게 적용될 수 있다. 본 연구의 설계 방법은 4가지 인간공학 척도를 종합한 값을 최대화하는 근사 최적해를 탐색한다. 따라서 본 연구의 설계 방법은 여러 가지 인간공학적 설계 척도들 중에서 시계성, 도달성, 여유성, 그리고 양립성이 상대적으로 중요하게 고려되어야 하는 제품들의 인터페이스 설계에만 적용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서 설계한 휴대형 무선통신 시스템 사용자 인터페이스는 현재 우리나라에서 개발 중인 TMMR 설계 시 유용한 설계 기준자료로 활용될 수 있다. TMMR은 시스템 기본설계 (preliminary design review, PDR)가 2011년 하반기에 완료 되었으며, 현재는 상세설계(critical design review, CDR)를 진행하고 있다. 상세설계 단계에서는 시스템의 사용자 인터페이스 설계 및 배치가 세부적으로 확정되어야 하므로 본 연구의 설계 결과가 유용한 설계 참고자료로 적용될 수 있을 것이다.

본 연구의 설계 방법은 설계 대상 인터페이스의 사용 빈도 (frequency-of-use)를 고려해 인간공학 척도의 가중치(importance)를 다르게 부여할 수 있다. 본 연구의 사례연구에서는 4 가지 척도들의 가중치($w_i = 0.25$)를 모두 동일하게 설정하였다. 그러나 설계 대상 인터페이스의 운용 특성에 따라 특정 설계 척도의 가중치를 다른 설계척도보다 높게 설정할 수 있다. 예를

들면, 버튼의 사용빈도가 높은 인터페이스를 설계할 경우는 버튼에 대한 도달성의 가중치를 표시장치에 대한 시계성의 가중치보다 높게 설정할 수 있다.

인간공학 설계 척도들의 정량화 함수는 실험을 통해서 결정 되는 것이 이론적으로 타당하다. 본 연구는 유관 선행연구들 (Yang et al., 2004; Jung et al., 2010)을 참고하여 선행함수를 이용하여 인간공학 척도들(예: 시계성, 도달성)을 정량화하였다. 그러나 이론적으로 보다 정확한 인간공학 척도들의 값을 도출하기 위해서는 실험을 통해 얻어진 자료를 이용하여 함수를 정의하는 것이 바람직하다.

본 연구의 유전알고리즘에 사용된 한 점 교차 기법과 무작위 돌연변이 유발 기법은 생성된 자손집단에 대한 제약조건 충족 여부를 분석 및 교정해야하는 한계점이 있다. 예를 들면, 제약 조건을 만족하는 두 부모로부터 한 점 교차를 통해 생성된 두 자손은 부모와 달리 설계 제약조건(예: 표시장치와 버튼의 배치 위치가 겹침)을 위배할 수 있다. 따라서 유전자 교배 및 변이 유발 후에는 항상 제약조건을 만족 여부를 사후 분석해야 한다. 본 연구는 유전자 교배 및 변이로 인해 제약조건을 위배하는 자손이 생성될 경우 부모의 유전자가 그대로 자손에게 상속되도록 하였다. 이러한 사후 타당성 분석을 제거 및 최소화하기 위해서는 사용자 인터페이스 설계에 특화된 유전자 교배 및 변이 기법의 개발이 필요하다.

본 연구에서 개발된 설계 방법의 활용도를 제고하기 위해서는 다양한 제품의 인터페이스 설계에 적용할 수 있는 범용의 설계 지원 시스템 개발이 필요하다. 본 연구는 MATLAB을 이용하여 휴대형 무선통신 시스템의 사용자 인터페이스를 설계할 수 있는 설계지원 시스템을 개발하였다. 그러나 개발된 시스템은 1개의 표시장치와 12개의 버튼으로 구성된 인터페이스의 설계에만 적용될 수 있는 한계점이 있다. 따라서 제안된 설계 방법의 활용도를 제고하기 위해서는 다양한 인터페이스 요소로 구성된 복합시스템의 사용자 인터페이스 설계에 적용될 수 있는 범용의 설계 지원 시스템 개발이 요구된다.

참고문헌

- Bekiroglu, S., Dede, T., and Ayvaz, Y. (2009), Implementation of different encoding types on structural optimization based on adaptive genetic algorithm, *Finite Elements in Analysis and Design*, **45**, 826-835.
- Chaffin, D. B. (2001), *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design*, Pennsylvania, USA : SAE.
- Chan, K. W. L. and Chan, A. H. S. (2009), Spatial stimulus-response (S-R) compatibility for foot controls with visual displays, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **39**, 396-402.
- Chan, W. H. and Chan, A. H. S. (2003), Movement compatibility for rotary control and circular display-Computer simulated test and real hardware test, *Applied Ergonomics*, **34**, 61-71.
- Conrad, R. and Hull, A. J. (1968), The Preferred Layout for Numeral Data-Entry Keysets, *Ergonomics*, **11**(2), 165-173.
- Datta, D., Amaral, A. R. S., and Figueira, J. R. (2011), Single row facility layout problem using a permutation-based genetic algorithm, *European Journal of Operational Research*, **213**(2), 388-394.
- Daruis, D. D. I., Deros, B. M., Nor, M. J. M., and Hosseini, M. (2011), An integrated model of static and dynamic measurement for seat discomfort, *Industrial Engineering and Management Systems*, **10**(3), 185-190.
- Eksioglu, M. (2004), Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **34**, 1-2.
- Finch, M. A., Phillips, J. G., and Meehan, J. W. (2008), Effects of compatibility and turning biases on arrowhead cursor placement in graphic user interfaces, *Computers in Human Behavior*, **24**, 372-387.
- Joo, C. M. and Kim, B. S. (2011), A genetic algorithm for scheduling of trucks with inbound and outbound process in multi-door cross docking terminals, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(3), 248-257.
- Jung, K., Lee, B., and You, H. (2011), Development and Application of an Anthropometric Design Method Considering Physical Human Variabilities, *IE Interfaces*, **24**(4), 420-427.
- Jung, K., Park, J., Lee, W., Kang, B., Eum, J., Park, S., and You, H. (2010), Development of a quantitative ergonomic assessment method for helicopter cockpit design in a digital environment, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **29**(2), 203-210.
- Jung, K., Jang, J., Han, Y., Lee, W., You, H., Chang, S. Y., and Jun, C. (2008), A strategic approach to construction of a course module for innovative product design and development, *Journal of Engineering Education Research*, **11**(3), 5-11.
- Kellegoz, T., Toklu, B., and Wilson, J. (2010), Elite guided steady-state genetic algorithm for minimizing total tardiness in flowshops, *Computer and Industrial Engineering*, **58**, 300-306.
- Kessler, E. and Knapen, E. G. (2006), Towards human-centred design : Two case studies, *Journal of Systems and Software*, **79**, 301-313.
- Kim, B. and Lee, W. (2011), An adaptive genetic algorithm for a dynamic lot-sizing and dispatching problem with multiple vehicle types and delivery time windows. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(4), 331-341.
- Kim, B. and Yum, B. (2010), Development of virtual metrology models in semiconductor manufacturing using genetic algorithm and kernel partial least squares regression, *IE Interfaces*, **23**(3), 229-238.
- Lai, H. and Huang, H. (2008), Evaluation of visibility of tinted helmet visors for motorcycle riders, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **38**, 953-958.
- Lamkull, D., Hanson, L., and Ortengren, R. (2009), A comparative study of digital human modelling simulation, results and their outcomes in reality : A case study within manual assembly of automobiles, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **39**, 428-441.
- Lee, C., Lin, W., Chen, Y., and Kuo, B. (2011a), Gene selection and sample classification on microarray data based on adaptive genetic algorithm/k-nearest neighbor method, *Expert Systems with Applications*, **38**, 4661-4667.
- Lee, W., Jung, K., Lee, H., Song, H., Oh, J., and You, H. (2011b), Development of a comprehensive usability testing and analysis framework for the physical interface between product and user, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **30**(2), 331-338.
- Lee, B., Chang, Y., Jung, K., Jung, I., and You, H. (2010), Ergonomic evaluation of a control room design of radioactive waste facility using digital human simulation, *Journal of the Ergonomics Society*

- of Korea, **29**(3), 383-391.
- LIG Nex1 (2012), Introduction to TMMR. Retrieved from http://www.lignex1.com : 8001/business/business01_11.jsp.
- Liu, Y. and Jhuang, J. (2012), Effects of in-vehicle warning information displays with or without spatial compatibility on driving behaviors and response performance, *Applied Ergonomics*.
- Lutz, M. C. and Alphonse, C. (1955), Expected locations of digits and letters on ten-button keysets, *Journal of Applied Psychology*, **39**(5), 314-317.
- Marteniuk, R. G., Ivens, C. J., and Brown, B. E. (1996), Are there task specific performance effects for differently configured numeric keypads?, *Applied Ergonomics*, **27**(5), 321-325.
- Mitchell, M. (1996), An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press.
- Navi Gadget (2008), GPS powered rifleman radio, <http://www.navigadget.com/index.php/2008/11/21/gps-powered-rifleman-radio>.
- Nilsson, E. G. (2009), Design patterns for user interface for mobile applications, *Advanced in Engineering Software*, **40**, 1318-1328.
- Pongcharoen, P., Khadwilard, A., and Hicks, C. (2008), A genetic algorithm with a new repair process for solving multi-stage, multi-machine, multi-product scheduling problems, *Industrial Engineering and Management Systems*, **7**(3), 204-213.
- Rardin, R. L. (1998), *Optimization in Operations Research*, Prentice Hill.
- Reed, M. P. and Roosmalen, L. (2005), A pilot study of a method for assessing the reach capability of wheelchair users for safety belt design, *Applied Ergonomics*, **36**, 523-528.
- Summanwar, V. S., Jayaraman, V. K., Kulkarni, B. D., Kusumakar, H. S., Gupta, K., and Rajesh, J. (2002), Solution of constrained optimization problems by multi-objective genetic algorithm, *Computers and Chemical Engineering*, **26**, 1481-1492.
- Tangsoc, J. C. and Ponio, A. S. V. (2009), Usability of wireless application protocol interface in the Philippines, *Industrial Engineering and Management Systems*, **8**(1), 54-659.
- Wikipedia (2012), Joint Tactical Radio System, Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Joint_Tactical_Radio_System.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., and Gordon-Becker, S. (2004), Introduction to Human Factors Engineering (2nd ed.), New Jersey : Prentice Hall.
- Yang, J., Marler, R. T., Kim, H., Arora, J., and Abdel-Malek, K. (2004), Multi-objective optimization for upper body posture prediction, *Proceedings of 10th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference*.
- You, H., Young, R., and Lee, M. W. (2008), The development and usability testing of an operating manual for a hair-braiding machine. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, **18**(1), 1-13
- You, H. (2007), Digital human model simulation for ergonomic design of tangible products and workplaces, *Proceedings of the 2007 Fall Conference of the Ergonomics Society of Korea*.
- Yun, Y. (2006), Hybrid genetic algorithm with adaptive local search scheme, *Computer and Industrial Engineering*, **51**, 128-141.