

물류 유통을 최적화하기 위한 네트워크-유통 알고리즘*

이종세** · 김명히**

요 약

산업사회에서 유통문제는 점차 비중이 커지고 있다. 유통 네트워크를 운영하는 개인이나 기업은 지점들 간의 유통 문제가 빈번히 발생한다. 더구나 고유가로부터 야기된 운송비 상승뿐만 아니라, 교통량 증가로 인한 운송 장애로 물류비용이 점차로 증가하는 추세이다. 이러한 물류 환경에서 물류 네트워크 정보를 어떻게 사용하느냐에 따라 유통에 소요되는 비용과 시간은 달라질 수 있다. 본 연구에서는 이러한 개념을 바탕으로 유통 네트워크 정보에 MAX-Flow 알고리즘을 적용하여 유통량을 극대화하며, 극대화된 유통 네트워크에서 유통 관리 기능을 제공함으로써 물류 시스템의 효율성을 향상시킨다. 본 연구에서는 물류 시스템의 운영에 있어서 유통 네트워크의 최적화로 물류 관리 비용을 절감하고 실제 산업현장의 여러 특성에 알맞게 적용할 수 있는 기반을 연구한다.

Max Flow Algorithm for the Network Flow Optimization

Chung Sei Rhee** · Ming-he Jin**

ABSTRACT

Network Flow has been playing important role in the modern industrial society. No matter what people or company run the network, both of them can't avoid circulating goods among the many branches. But in practical situations, not only the price rising in network increase the transportation costs, but the huge traffic flow volumes increase the transportation costs. Given to such a network environment, how to flow goods in the network is very important. In this paper, the MAX-Flow algorithm will be applied to network flow in order to maximize the network flow volumes. As far as the functions of network are correctly provided, the optimized network system always can make the flow process efficiently.

Key words : Max-Flow, Networks Optimization, Flow Network, Ford-Fulkerson

* This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2007.

** 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

1. 서 론

최근의 국가 경쟁력 향상의 중요한 분야의 하나인 물류유통 시스템의 최적화(유통량, 시간, 비용 등을 고려한 유통 시스템)에 대한 연구가 많이 추진되고 있다. 기업 활동에 있어서 유통 문제는 무시할 수 없는 중요한 분야이며, 최근 물류유통 비용의 상승에 의한 업계의 부담이 가중되고 있는 기업 현실에서 운송 효율화를 실현하고 대응책을 모색하는 것은 업계와 정부의 관심이 많이 집중되고 있다.

제품의 운송, 보관, 재고통제 등의 물류분야는 관리의 혁신을 통하여 대폭적인 비용절감을 기대할 수 있으나 현재 관심부족으로 다른 분야에 비하여 연구가 안 된 분야이다. 이러한 물류 유통의 중요성은 다음과 같이 설명할 수 있다. 유통 효율의 향상으로 기업 물류비를 절감하여, 이를 통해 물가의 상승을 억제할 수 있다. 또한 영리를 추구하는 기업 입장에서의 물류를 최소의 비용으로 유통시킴으로써 매출신장을 꾀하는 역할을 가능하게 한다. 이처럼 기업의 산업 활동에서 중요한 부분을 차지하고 있는 물류 시스템을 보다 효율적으로 활용하기 위하여 MAX-Flow 알고리즘을 적용하고, 이로부터 한정된 유통 경로 상에서 보다 많은 물류의 배송을 가능하게 하는 물류 최적화 시스템을 구축한다.

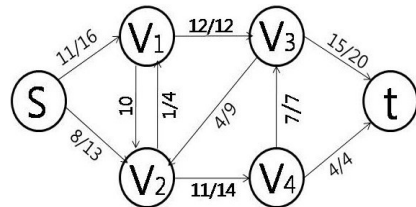
이 연구에서는 유통 네트워크 정보에 MAX-Flow 알고리즘을 적용하여 물류 유통을 극대화하고, 극대화된 유통네트워크에서 물류관리 기능을 제공함으로써 물류 시스템의 효율성을 향상시킨다. 이에 따라 물류 시스템의 운영에 있어서 유통 네트워크의 최적화로 물류 관리 비용을 절감할 수 있다.

이 논문의 주요 목차는 다음과 같다. 제 2장에서는 관련연구를 살펴보고, 제 3장에서는 시스템 구현 및 평가를 하였으며, 제 4장에서 결론을 제시하였다.

2. 관련 연구

최대 흐름(MAX-Flow)문제는 (그림 1) 흐름을 이용하여 단일-소스, 단일-싱크 흐름을 네트워크를 통해 최대화하여 나타낸다. 최대 흐름을 찾는 것은 흐름을 나타냄으로써 정의된다. 최대 흐름 문제는 순환문제와 같은 복잡한 네트워크 흐름 문제의 특별한 경우이다. 네트워크에서 최대 s-t(source-to-sink) 흐름은 최대-흐름-최소-잘라내기 이론의 최소 s-t 문제와 같다. 주어진 유통 네트워크 $G = (V, E)$, 각각의 간선 $(u, v) \in E$ 의 음이 아닌 용량 $c(u, v) > 0$ 을 갖는 방향 그래프이다.

이 논문에서는 특정제약조건으로 소스 s에서 싱크 t까지의 최대 흐름 f를 찾는다. 문제를 해결하는 방법은 다음과 같다.



(그림 1) 최대 흐름 문제

Edmonds-Karp 알고리즘은 각각의 간선이 단위 거리를 가질 때 확대 경로 p를 계산하기 위하여, 너비 우선 검색을 이용한다. 즉 확장 경로가 잔여 네트워크에서 s에서 t로의 가장 짧은 경로라면 가장 짧은 시간에 최대흐름을 나타낸다. 이 알고리즘의 실행시간은 $O(VE^2)$ 이 된다. Push-relabel 알고리즘은 확대경로를 찾기 위해 잔여 네트워크를 이용하기 보다는, 한번에 하나의 정점에 대하여 잔여 네트워크에 있는 그 정점의 이웃들만 살펴보는 방법이다. 이 알고리즘의 실행시간은 $O(VE^2)$ 이 된다.

Ford-Fulkerson 알고리즘은 매번 반복할 때마다 새로운 확대 경로 p를 찾고 p에 있는 각각의

간선의 유통 f 를 잔여 용량 $Cf(p)$ 크기만큼 증가시킨다. 이러한 알고리즘의 수행시간은 확대 경로 p 를 찾는 방법에 의해 결정된다. 만약, 확대경로를 선택하는 방법이 명확하지 않으면 알고리즘은 끝나지 않을 수도 있다. 연속적인 유통량을 증가시키면 유통값은 증가하지만 최대 유통으로 수렴하지 않을 수도 있다. 최대 흐름 문제는 정수의 용량을 가진 환경에서 나타난다. 용량이 유리수인 경우 적절한 크기 변형을 통하여 모든 용량을 정수로 바꿀 수 있다. 이런 가정 하에서 Ford-Fulkerson의 단순한 구현은 f^* 가 알고리즘에 의해 찾아내는 최대 유통이라고 할 때, $O(E|f^*|)$ 시간 내에 수행된다. Ford-Fulkerson 알고리즘의 각 반복에 $O(E)$ 의 시간을 소모하므로 전체수행시간은 $O(E|f^*|)$ 이 된다.

3. 시스템 구현 및 평가

물류 유통 문제를 해결하기 위하여 앞에서 언급한 내용을 기초로 하여 시스템을 설계한다. 이 논문에서는 Ford-Forkerson 방법에 의해 알고리즘을 구현한다.

Ford-Fulkerson-METHOD(G, s, t)

1. 유통(Flow) f 를 0으로 초기화한다.
2. while 확대 경로 p 가 존재함 do
유통(Flow) f 를 p 에 따라서 확대한다.
3. return f

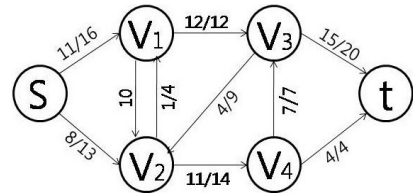
3.1.1 잔여 네트워크(residual network)

주어진 물류 네트워크와 유통에 대해 잔여 네트워크는 더 많은 유통을 허용할 수 있는 간선으로 구성되어 있다. 좀 더 엄밀하게 표현하면, 출발지 s 와 도착지 t 를 가지는 물류 네트워크 $G = (V, E)$ 에 대하여 f 를 G 의 유통이라 하고, 한 쌍의 정점

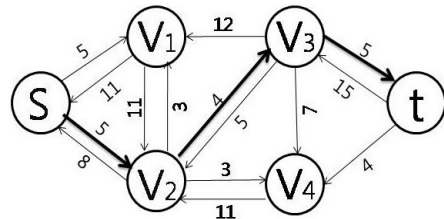
$u, v \in V$ 에 대하여 용량 $c(u, v)$ 를 초과하기 전에 u 에서 v 로 추가할 수 있는 유통의 양을 (u, v) 의 잔여 용량이라고 하고 다음과 같이 나타낸다.

$$cf(u, v) = c(u, v) - f(u, v) \quad (1)$$

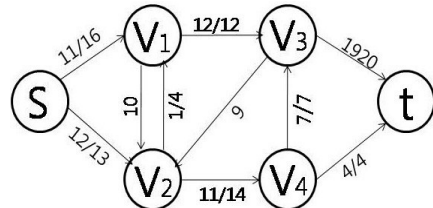
주어진 물류 네트워크 $G = (V, E)$ 와 유통 f 에 대해서 f 에 의해 유도된 G 의 잔여 네트워크는 $Gf = (Vf, Ef)$ 이며 여기서 $Ef = \{(u, v) \in V * V : cf(u, v) > 0\}$ 이다.



(그림 2-a)



(그림 2-b)



(그림 2-c)

(그림 2-a)는 (그림 1)의 물류 네트워크 G 와 유통 f 이고, (그림 2-b) 확대 경로 p 는 어둑게 표시되어 있는 잔여 네트워크 Gf 이다. 여기서 잔여 용

량은 4이다. (그림 2-c)는 G의 유통에서 경로 p를 잔여 용량 4만큼 확장한 결과를 나타내는 유통문제를 나타낸다. (그림 2-d)는 (그림 2-c)의 유통량으로부터 유도된 잔여 네트워크를 나타낸다.

3.1.2 확대경로

물류네트워크 $G = (V, E)$ 와 유통 f 에 대해 확대 경로(augmenting path) p 는 잔여 네트워크 G_f 에서 s 에서 t 로의 단순 경로이다. 잔여 네트워크의 정의에 의해, 확대경로 내부의 각각의 간선 (u, v) 에 대해 용량 제한을 위반하지 않고 u 에서 v 로 추가적으로 유통을 증가시키는 것이 가능하다. 확대 경로 p 의 각각의 간선에 추가할 수 있는 유통의 최대량을 p 의 잔여 용량이라고 정의하고 다음과 같이 나타낸다.

$$cf(p) = \min\{cf(u, v) : (u, v) \text{는 } p \text{의 간선이다}\}$$

3.1.3 Max-Flow 최소 단절 정리

f 가 출발지 s 와 종점 t 를 갖는 유통 네트워크 $G = (V, E)$ 의 흐름이라고 가정할 때, 다음 조건들은 같은 의미를 지닌다.

- 1) f 가 G 의 최대 유통이다.
- 2) 잔여 네트워크 G_f 가 확대 경로를 갖지 않는다.
- 3) G 의 어떤 단절(S, T)에 대해 $|f| = c(S, T)$ 이다.

FORD-FULKERSON 방법은 매번 반복할 때마다 어떤 확대 경로 p 를 찾고 p 에 있는 각각의 간선의 유통 f 를 잔여 용량 $Cf(p)$ 만큼 증가시킨다. 다음의 구현 방법은 간선으로 연결되어 있는 각각의 정점 u, v 쌍들의 흐름 $f[u, v]$ 를 갱신함으로써 그래프 $G = (V, E)$ 의 최대 흐름을 찾아낸다. u 와 v 는 어떤 방향의 간선으로도 연결되어 있지 않은 경우, $f[u, v] = 0$ 이라고 가정한다. 용량 $c(u, v)$ 는 그래프와 함께 주어지며 $(u, v) \notin E$ 인 경우, $c(u,$

$v) = 0$ 으로 가정한다. 잔여 용량 $Cf(u, v)$ 는 공식 (1)에 의해서 계산한다. 이 코드에 있는 표현 $Cf(p)$ 는 경로 p 의 잔여 용량을 저장하는 임시 변수이다.

FORD-FULKERSON(G, s, t)

- 1) for 각각의 간선 $(u, v) \in E[G]$
- 2) do $f[u, v] \leftarrow 0$
- 3) $f[u, v] \leftarrow 0$
- 4) while 잔여 네트워크 G_f 에서 s 에서 t 로 가는 경로 p 가 존재한다.
- 5) do $Cf(p) \leftarrow \min\{Cf(u, v)\}$
- 6) for p 에 있는 각각의 간선 (u, v) 에 대해서
- 7) do $f[u, v] \leftarrow f[u, v] + Cf(p)$
- 8) $f[u, v] \leftarrow -f[u, v]$

3.2 시스템 구현

제안하는 방법에 적용된 Ford-Fulkerson 알고리즘을 이용해 물류유통량을 극대화하고, 극대화된 물류네트워크에서 물류관리 기능을 제공함으로써 물류 시스템의 효율성을 향상시킬 수 있는 시스템을 구축하여 시스템의 성능을 분석한다.

본 시스템은 다음과 같이 5가지의 시스템으로 나누어져 있다. 로그인/로그아웃시스템, 물류 네트워크 정보관리 시스템, 발송물의 정보관리 시스템, 물류 배정시스템, 물류 추적 시스템이다.

3.2.1 로그인/로그아웃

물류 최적화 시스템을 사용하기 위해서 로그인을 이용하여 인증을 거치고, 이용 후 로그아웃을 한다.

관리자가 로그인 정보를 입력한 후 시스템은 DB 서버에 질의하여 로그인 정보가 일치하는지 확인하고 인가된 관리자로 판별될 경우 사용권한을 부여한다.

3.2.2 물류 네트워크 정보 관리

물류 네트워크 정보(지점, 연결 상태, 수량 등)를 입력, 수정, 삭제할 수 있다. 전체 관리자가 물류 네트워크 정보 관리 시스템은 DB 서버에 질의하여 현재의 물류 네트워크 정보를 보여 준다. 관리자는 물류 네트워크 정보를 변경 및 저장할 수 있다. 시스템은 물류 네트워크 정보를 DB 서버에 저장한다.

3.2.3 발송물의 정보 관리

물류 네트워크 정보 관리 시스템은 지점관리자가 발송물의 정보 관리를 선택하면 시스템은 발송물의 정보 관리 화면을 보여준다. 지점관리자가 지점에서 보낸 발송물의 목록을 선택하면 시스템은 DB 서버에 질의하여 지점에서 보낸 발송물의 목록을 보여준다. 그리고 지점관리자가 발송물의 정보를 변경할 수 있다.

3.2.4 물류 배정

물류 네트워크에 Ford-Fulkerson 알고리즘을 적용시켜 발송지점과 수신지점사이의 유통량을 극대화하는 경로들을 보여주면 운송비용, 운송시간을 기준으로 가장 최적화된 경로를 선택할 수 있고, 날짜별로 물류를 분류할 수 있다. 현재 물류의 흐름을 확인하고, 최단거리 경로 알고리즘을 이용하여 최단 경로로 물류가 흐르도록 하며, 물류의 재고 상태 파악 및 검사를 통해 원활한 흐름이 이루어지지 않을 경우 최적화 원리를 이용하여 흐름 제어를 한다.

3.2.5 물류 추적

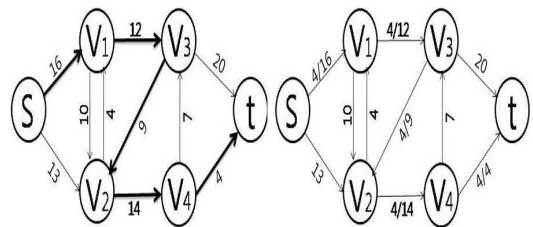
운송중인 발송물의 현재 상태와 위치, 무게 등의 정보를 물류 추적 시스템으로 나타내고 물류의 기간별 통계정보를 제공한다.

3.3 시스템을 적용한 평가

국내 물류회사에서 물류를 배송하기 위해 구축되어진 네트워크를 살펴보고, 배송정보를 분석해 보았다. 현재 시스템의 문제점은 이용 가능한 자원을 최대한 활용하지 못함으로써 투자비용에 비해 효과적인 결과를 보여주지 못하고 있다는 점이다. 그에 따라 본 연구에서는 유통 문제를 효과적으로 다룰 수 있는 알고리즘을 적용한 시스템을 구축함으로써 문제점이 어느 정도 보완되는지를 확인할 수 있었다.

이 연구에서는 현재 물류 네트워크를 사용하고 있는 기존 방식과 본 연구에서 제안 물류 최적화 시스템을 사용한 적용 방식을 비교하였다. 비교결과는 다음과 같다.

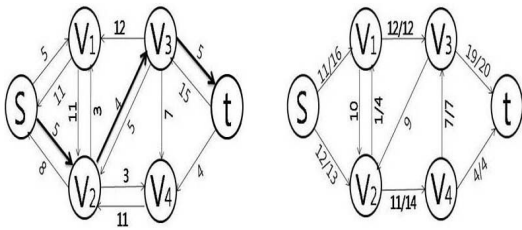
(그림 3)은 현재 물류시스템을 통해 배송되는 정보를 보여주고 있다. 예를 들어 노드 S에서 노드 V1로 물류를 배송할 경우 총 16개의 물류를 배송할 수 있지만 기존 시스템의 경우 4개만 배송되고 있다.



(그림 3) 현재 물류네트워크 사용 모델

이로 인해 12개를 배송하지 못함으로써 효율성이 떨어지게 되는 것이다. V2에서 V4의 경우 전체 14개를 보낼 수 있지만, 기존 방식에서는 그의 1/3 수준인 4개밖에 전달되지 않는다. 이를 보면 현재 최대의 효율성을 보여주지 못하는 것을 알 수 있다.

(그림 4)를 보면 (그림 3)과 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 자세히 예를 들자면 기존 모델의



(그림 4) MAX-Flow 알고리즘에 따른 물류네트워크 사용 모델

경우, S에서 V1로 물류를 4개 밖에 보내지 못하였지만 적용모델에서는 11개를 보낼 수 있어서 거의 200%의 성능 향상을 보이고 있다. 초기 MAX-Flow 알고리즘을 한번 적용시키면 큰 성능향상이 보이지 않지만, 반복적으로 사용하면 점점 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 또 다른 예로, 기존모델의 V1에서 V4는 전체 16개를 보낼 수 있지만 4개밖에 보내지 못하였는데, 적용모델에서는 11개를 보낼 수 있었다. 이처럼 제안방식을 사용한 결과 성능에서 큰 향상을 보이는 것을 알 수 있다.

〈표 1〉 차량에 따른 운송량 평가(단위 : 번)

경로 방식	기존 방식	적용 방식
S → V ₁	25	10
V ₁ → V ₃	25	9
V ₃ → T	5	6
합 계	55	25

〈표 1〉은 경로 S → V₁ → V₃ → T로 차를 이용하여 배송할 경우 전체 100개의 물류유통량을 기준으로 보았을 때 총 몇 번 운행해야 물량을 모두 배송할 수 있는지를 나타낸 표이다. 예를 들어 S에서 V₁의 경우 (그림 3)을 살펴보면 한번에 4개밖에 배송할 수 없다. 그러므로 100개를 모두 전송하기 위해서는 25번의 과정을 반복해야 하는 것이다. 하지만, 적용 방식의 경우 (그림 4)를 바탕으로 설명하자면 동일 경로에서 11개를 배송할 수 있기

때문에 10번만 거치면 모든 물량을 처리할 수 있다. 전체적으로는 기존 방식에 비해 100%의 성능이 향상되었다고 할 수 있다.

〈표 2〉 전체 운송량 평가(단위 : 번)

경로 방식	기존 방식	적용 방식
S → V ₁	25	10
V ₁ → V ₃	25	9
V ₃ → V ₂	25	11
V ₂ → V ₄	25	10
V ₄ → T	25	25
합 계	125	65

〈표 2〉는 경로 S → V₁ → V₃ → V₂ → V₄ → T에 따라 차량을 통해 배송되는 횟수를 나타낸 표이다. 기존 방식은 총 125회 운행하는데 반해 적용 방식은 65회 운행되므로 100%의 성능 효과를 보인다고 할 수 있다.

4. 결 론

기존 물류 이동 방식은 네트워크 유통 알고리즘을 제대로 활용하지 못하고 있다. 이 논문에서는 네트워크 유통 알고리즘인 MAX-FLOW 알고리즘을 통해 유통시스템을 보다 효율적으로 사용할 수 있는 방안을 제공함으로써 실제 성능평가에서 그 성능이 입증하였다. 차후 연구는 Max-Flow 알고리즘을 이용하여 보다 다양한 물류 유통 문제에 이를 적용하려 한다.

참 고 문 헌

- [1] Gillet, B. E. and L. R. Miller, "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatching Pro-

blem”, J. Operations Research, Vol. 22, No. 4, pp. 340-349, 1974.

[2] R. J. and J. M. A. Tanchoco, “Flow Path Design for Automated Guided Vehicle Systems”, International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 5, pp. 667-676, 1987.

[3] Jensen, P. A. and Barnes, J. W., Network Flow Programming, John Wiley&sons, 1980.

[4] Williams, B. W., “Vehicle Scheduling : Proximity Priority Search”, J. Operational Research, Vol. 33, pp. 561-568, 1981.

[5] Baker, B. S., “An exact algorithm for the time constrained traveling problem”, Operations Research, Vol. 31, pp. 938-945, 1984.

[6] Christofides, N. Mingozzi, A, and Toth, P., “Exact algorithm for the vehicle routing problem based on spanning tree and shortest path relaxations”, Mathematical Programming, Vol. 20, pp. 255-282, 1980.

[7] Andrew V. Goldberg and Robert E. Tarjan, “A new approach to the maximum-flow problem”, Journal of the ACM 35 : 921-940,

ACM Press. doi:10.1145/48014.61051. ISSN, 0004-5411, 1988.



김명하

2005년 중국 Changchun Normal University 졸업
2006년~현재 한국 충북대학교 전자계산학과 석사과정
관심분야 : 알고리즘, 정보보안, 네트워크



이충세

1979년 Univ. of South Carolina 컴퓨터과학과(석사)
1990년 Univ. of South Carolina 컴퓨터(과학과박사)
Univ. of North Dakota 전산학과 조교수
1991년~현재 충북대학교 컴퓨터과학과 교수
관심분야 : 결합허용, 알고리즘, 전문가시스템, 정보보안