



ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

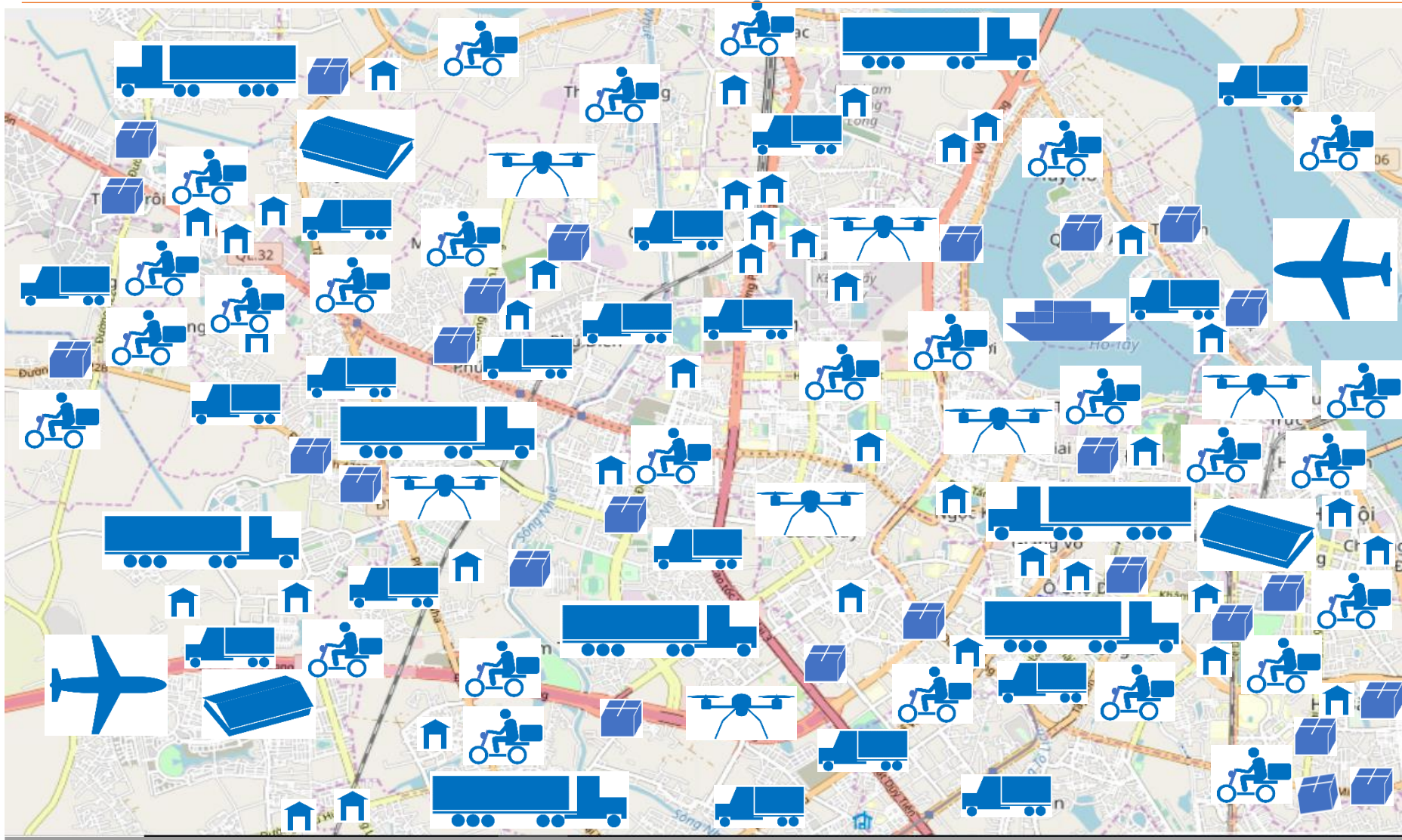
TỐI ƯU LẬP KẾ HOẠCH

Bài toán lộ trình vận tải

Nội dung

- Tổng quan
- Toán tử láng giềng
- Thư viện CBLSVR

Tổng quan



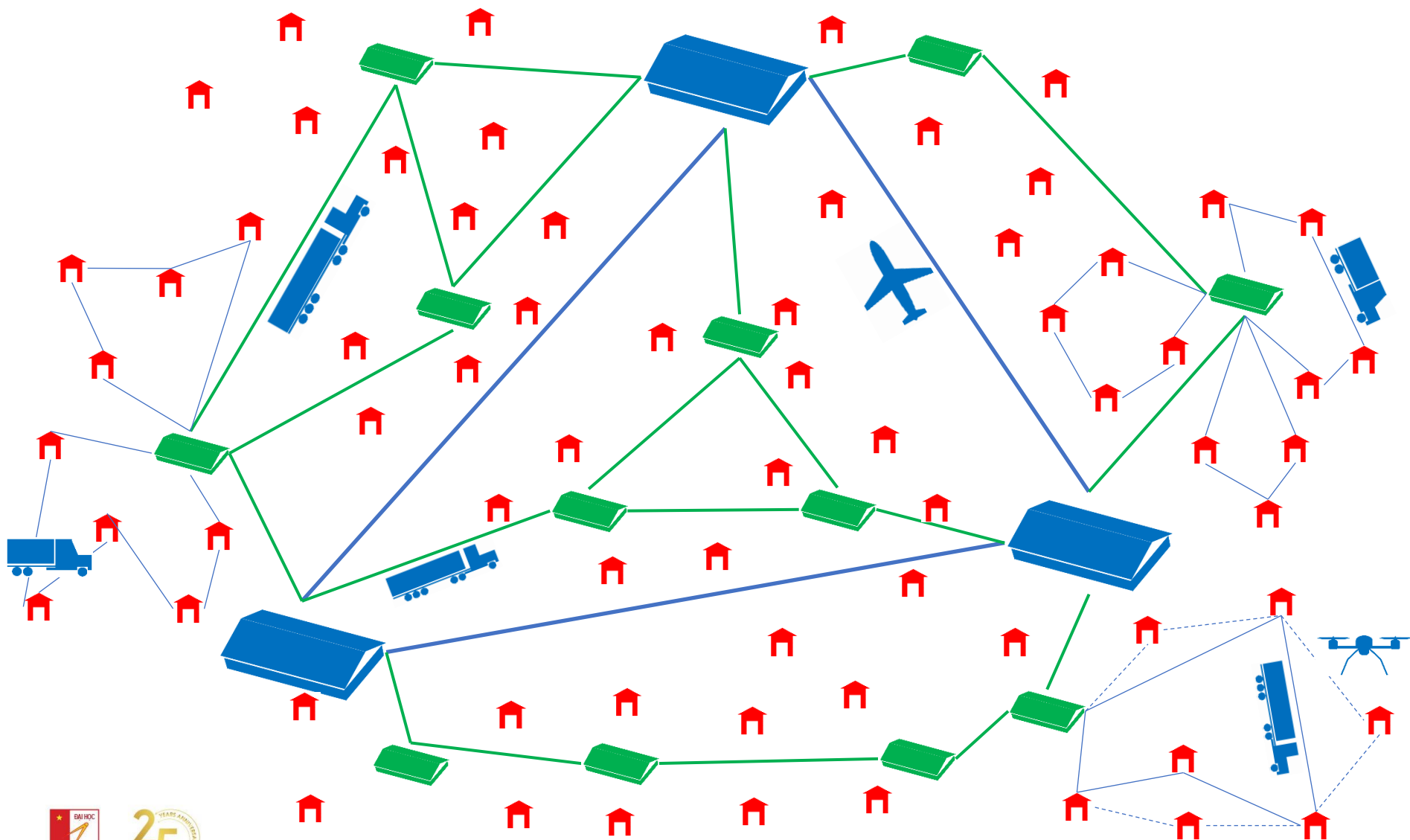
Tổng quan

- Theo [Armstrong and associates, 2007]
 - Châu Âu và các nước Bắc Mỹ: 8→11% GDP
 - Các nước đang phát triển: 12→21% GDP
- Theo báo cáo của CSCMP về logistics

Năm	Tổng chi phí logistics ở Mỹ (\$ tỉ)
2016	1,392.64
2017	1,494.70

- Theo Hiệp hội doanh nghiệp dịch vụ Logistics Việt Nam (VLA)
 - Chi phí logistics của Việt Nam năm 2016 chiếm khoảng 20% GDP

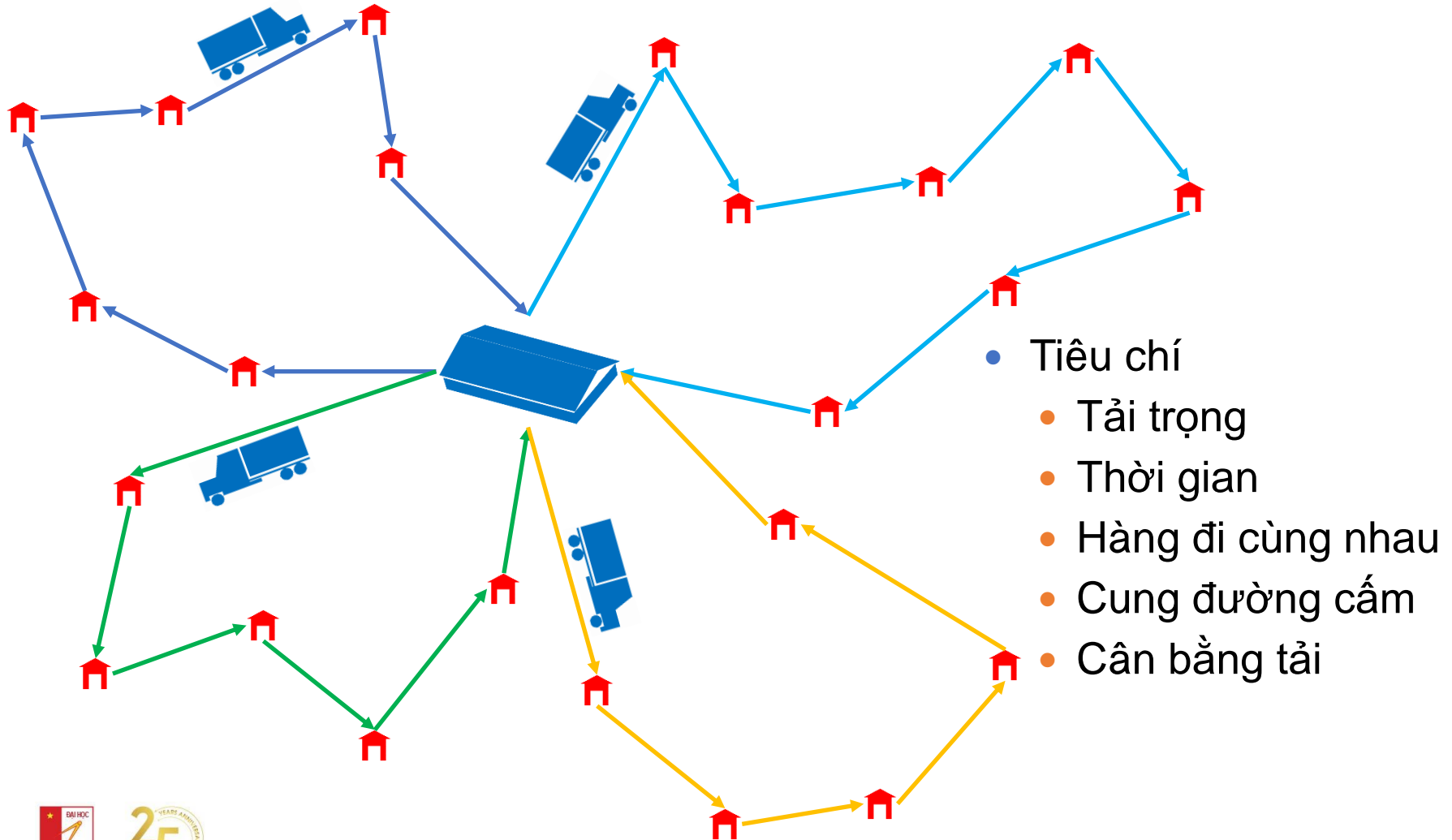
Mạng lưới chuỗi cung ứng vận chuyển



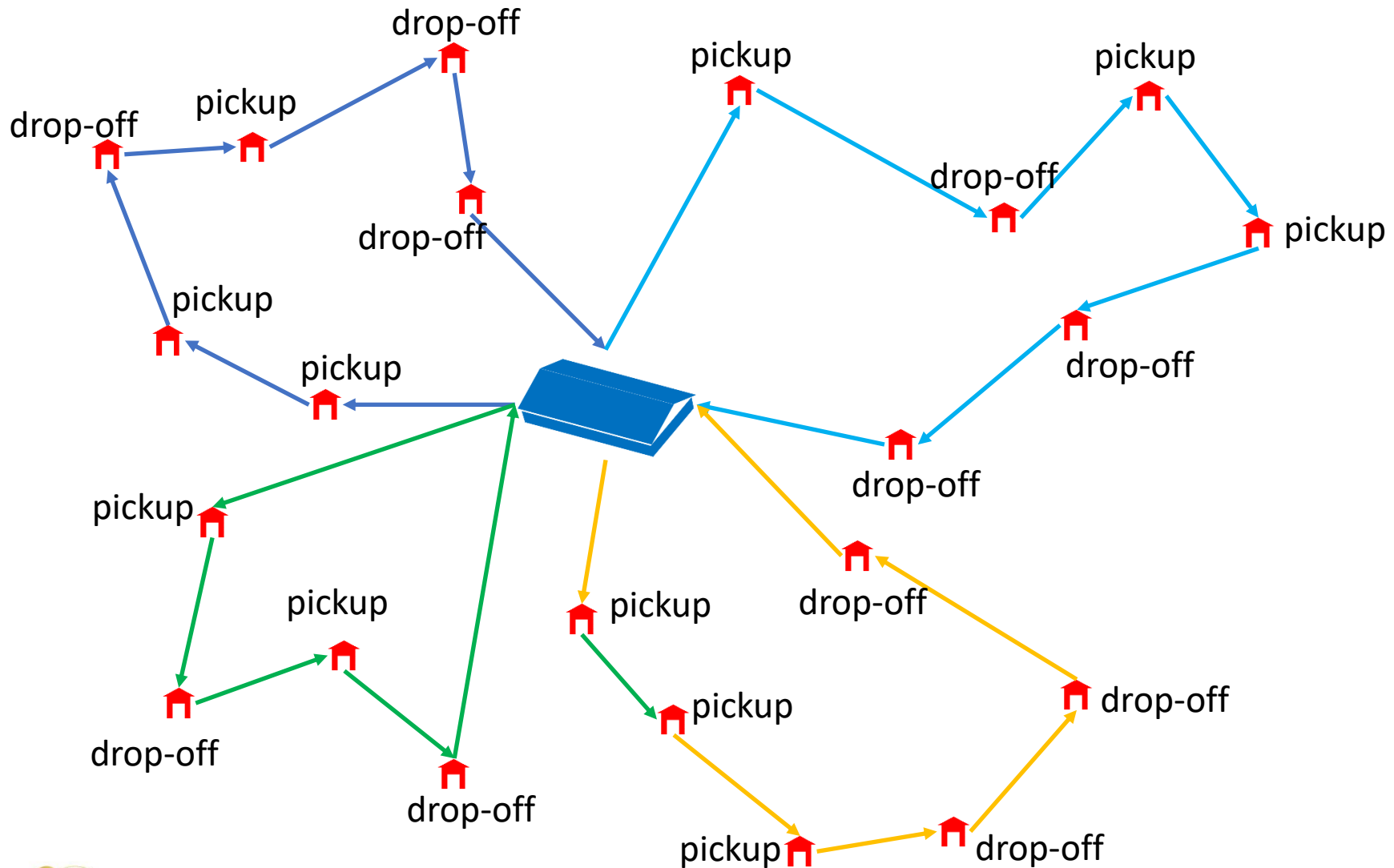
Bài toán lập lộ trình vận tải

- Giao hàng từ kho trung tâm
- Lộ trình lấy và trả hàng hóa
- Lộ trình vận chuyển container
- Lộ trình đón, trả người kết hợp hàng hóa
- Giao hàng kết hợp xe tải và thiết bị bay

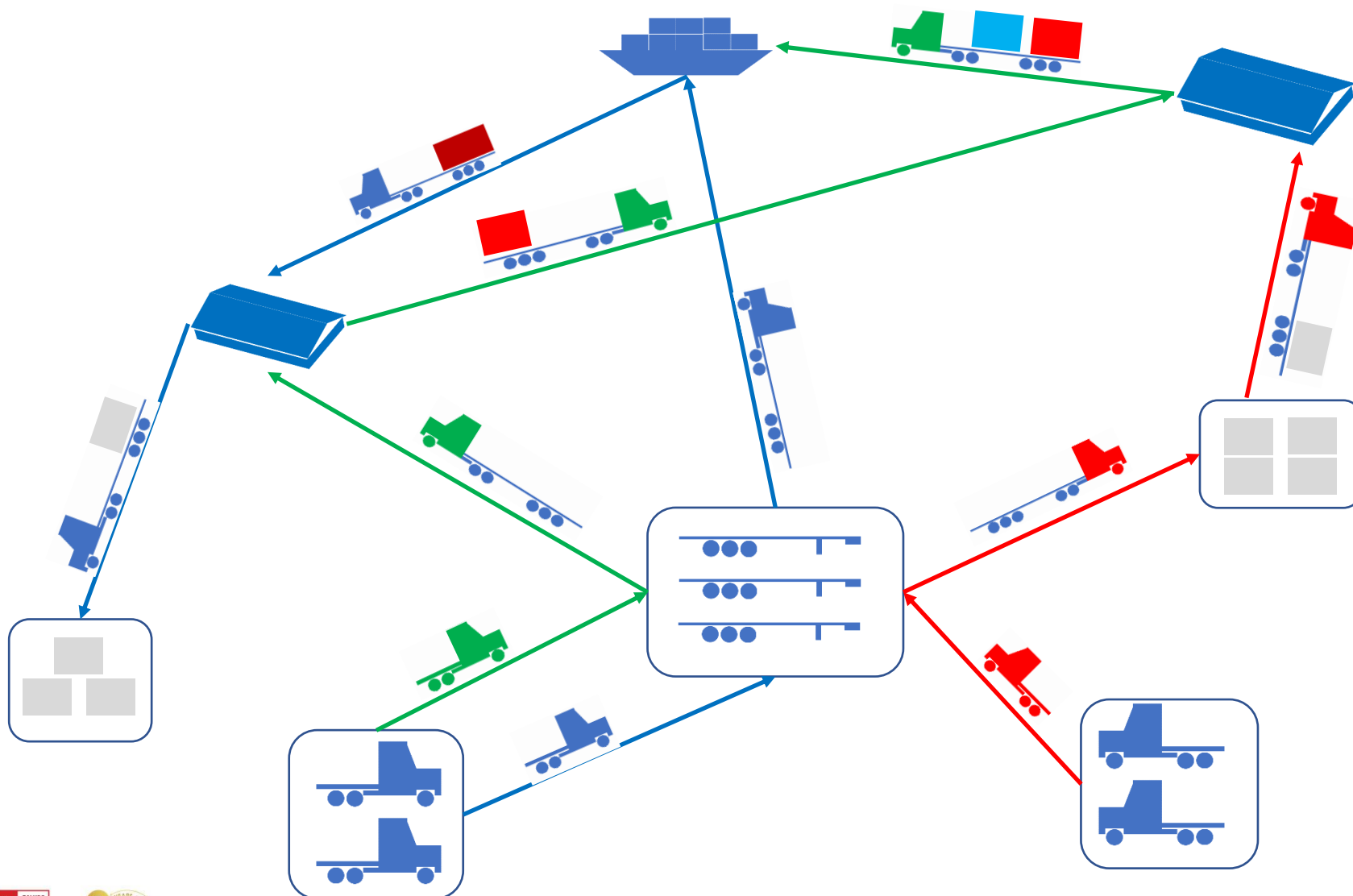
Giao hàng từ kho trung tâm



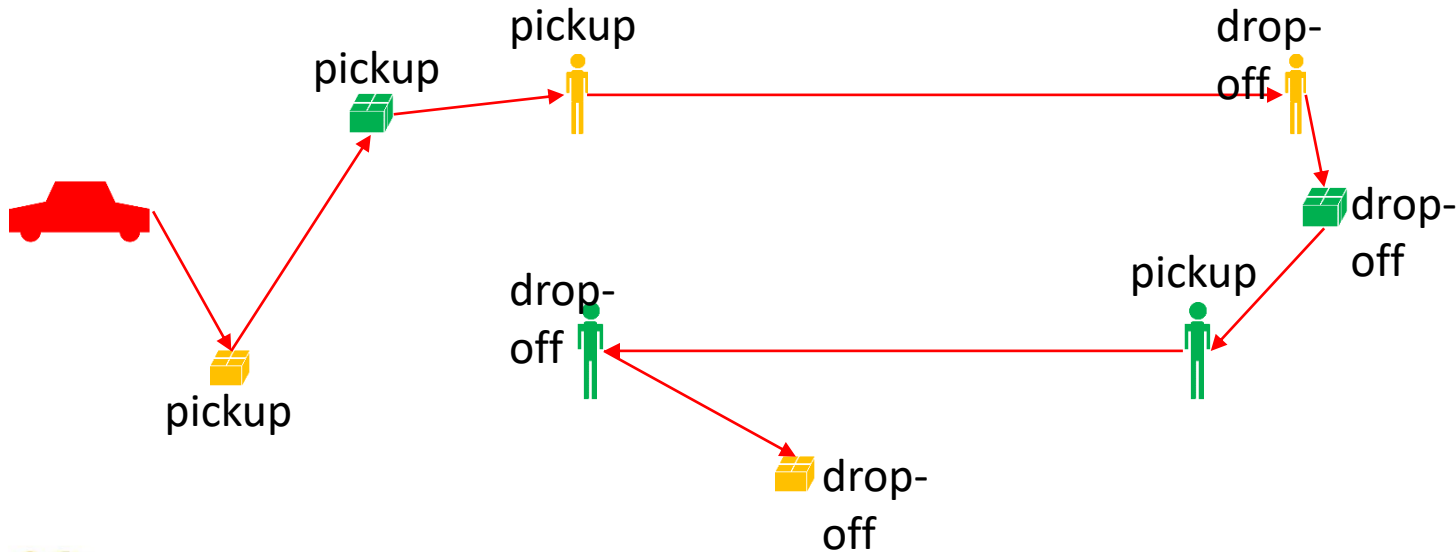
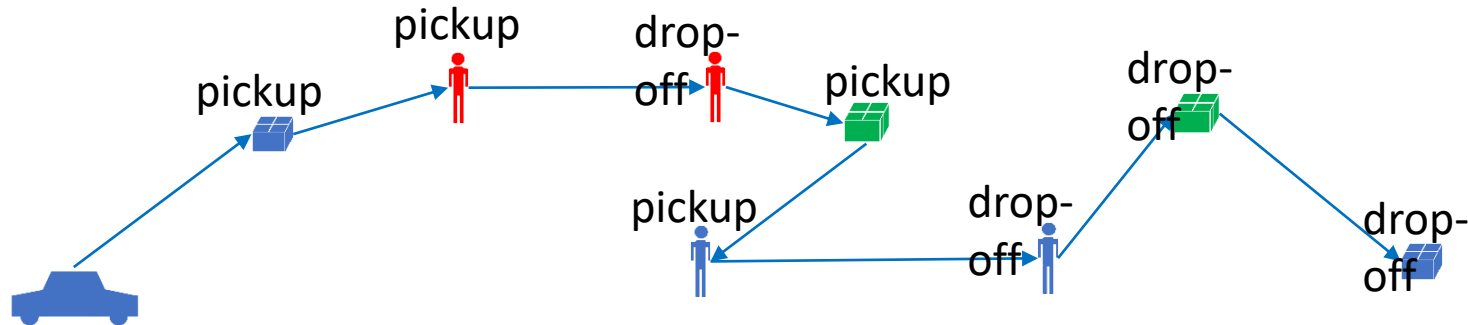
Lộ trình đón và trả



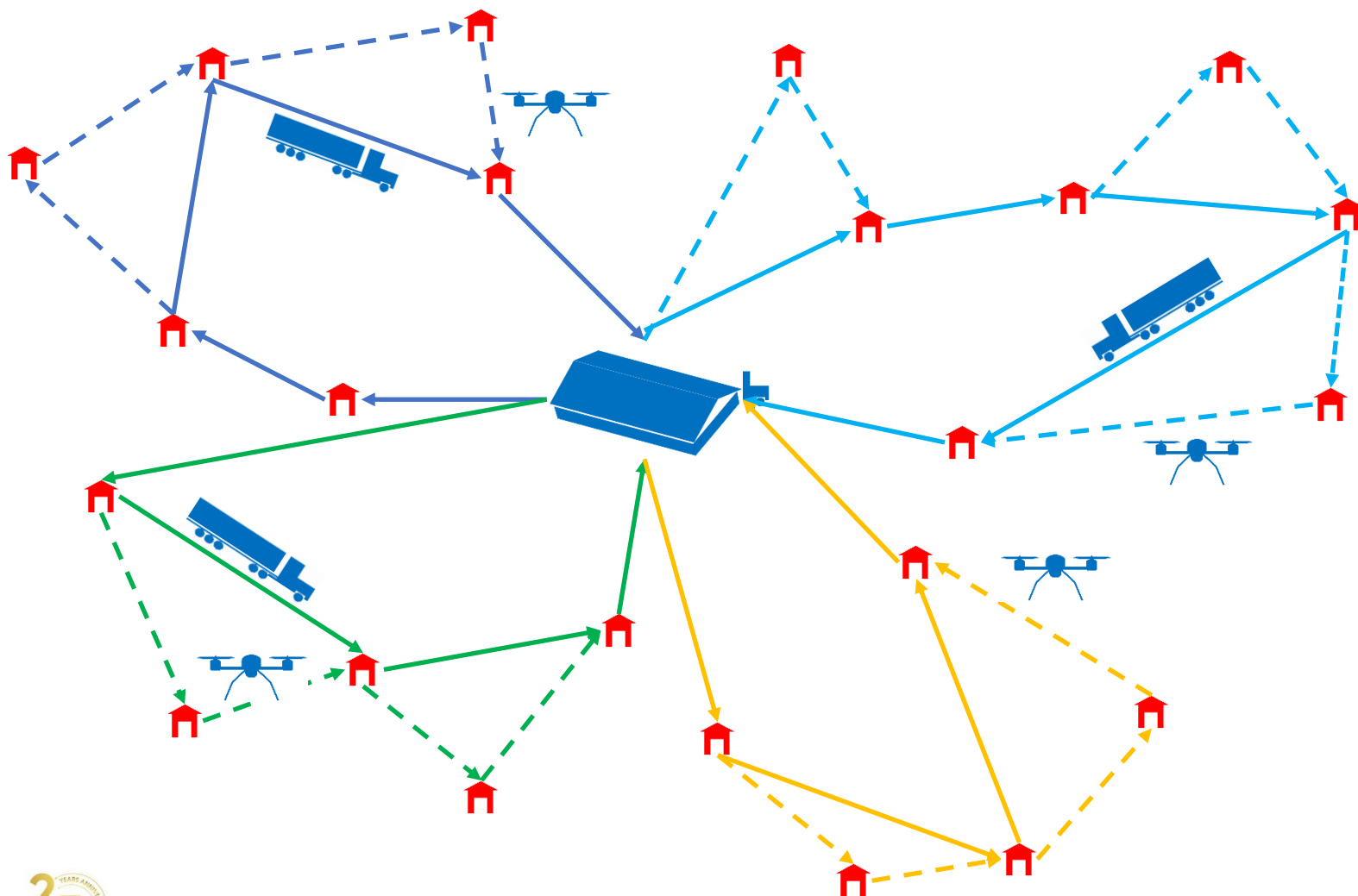
Lộ trình vận chuyển container



Lộ trình đón trả người kết hợp hàng hóa

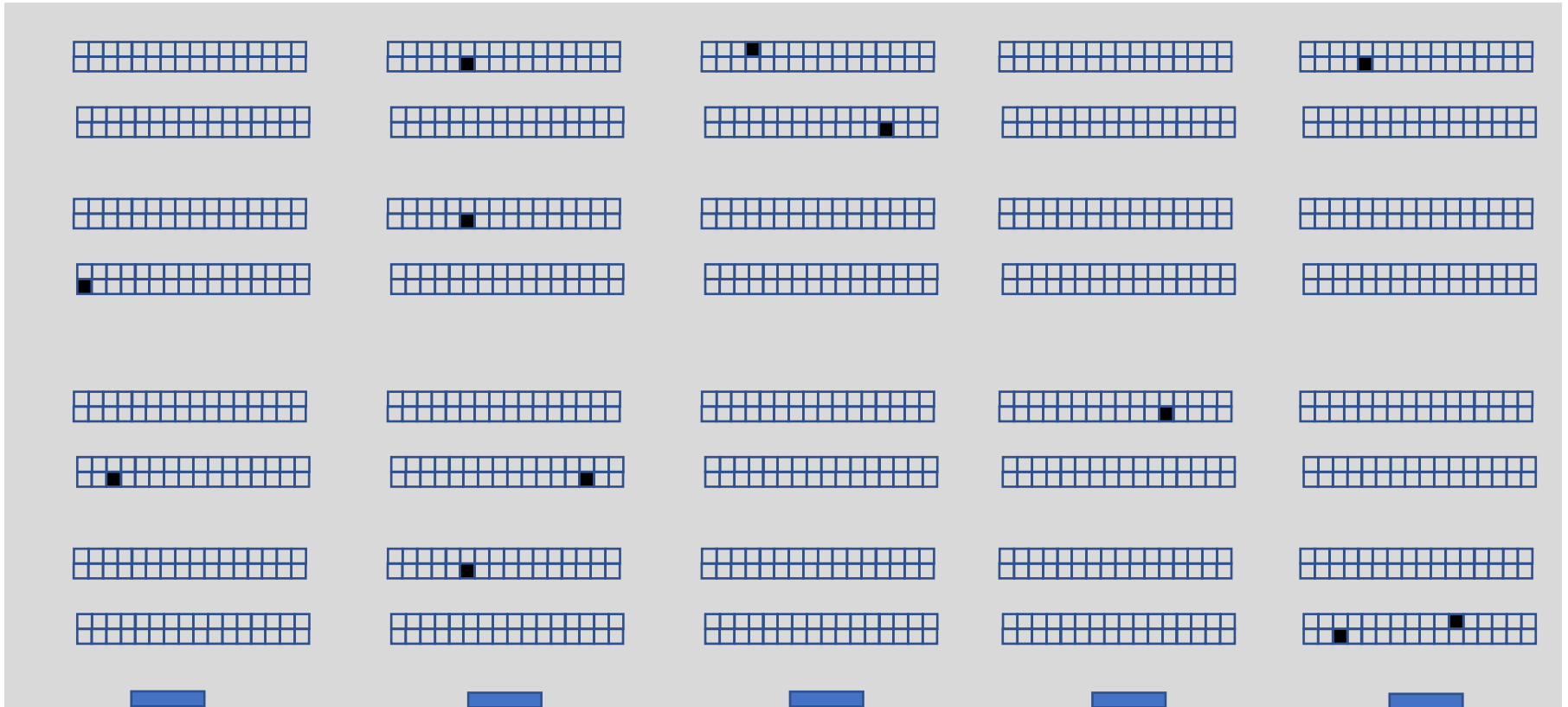


Giao hàng kết hợp xe tải và thiết bị bay

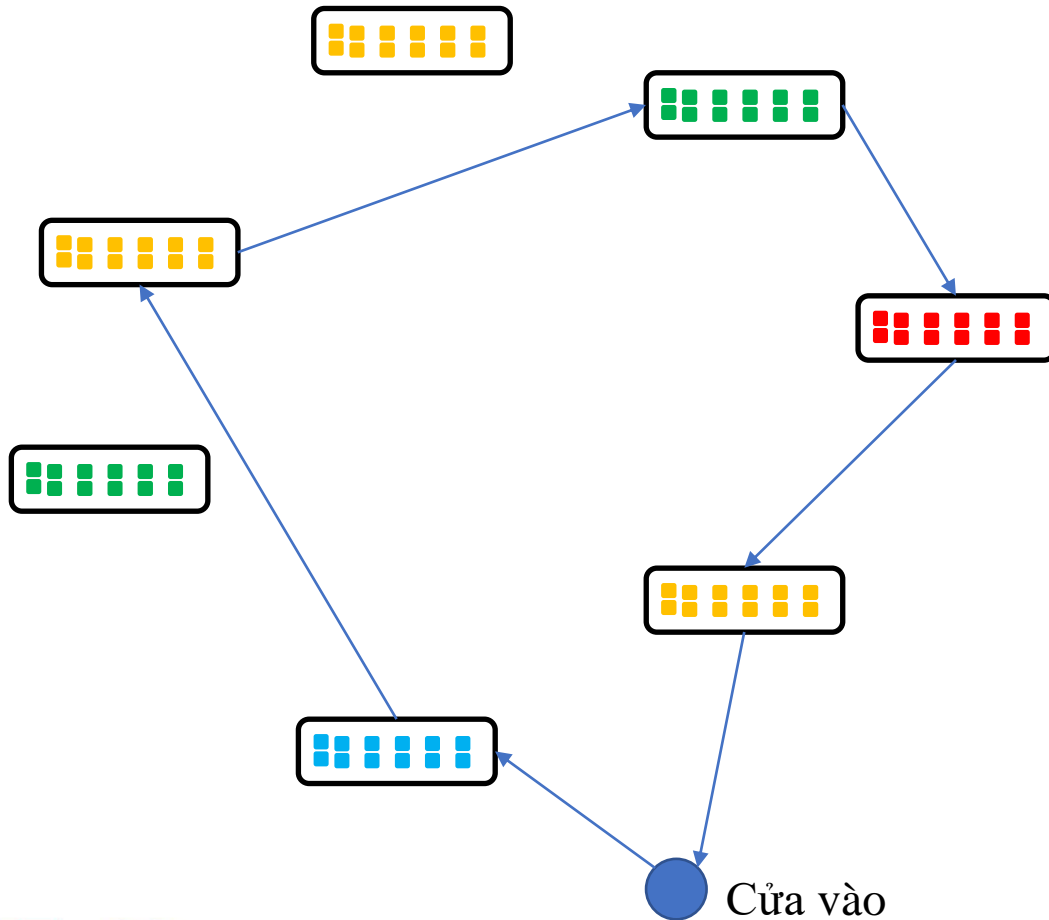




Quản lý kho

- Lộ trình lấy hàng trong kho (order picking optimization)



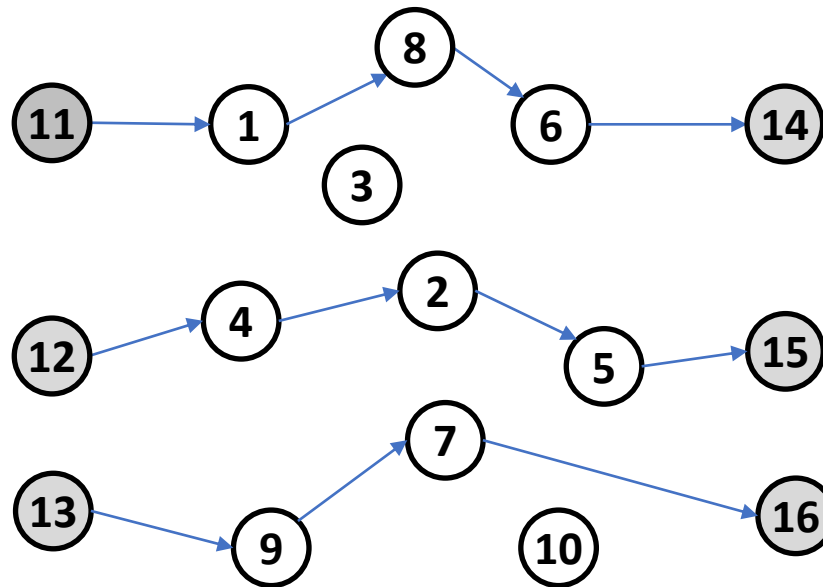
Lộ trình lấy hàng trong kho



Đơn hàng	
   	
  	
     	
         	

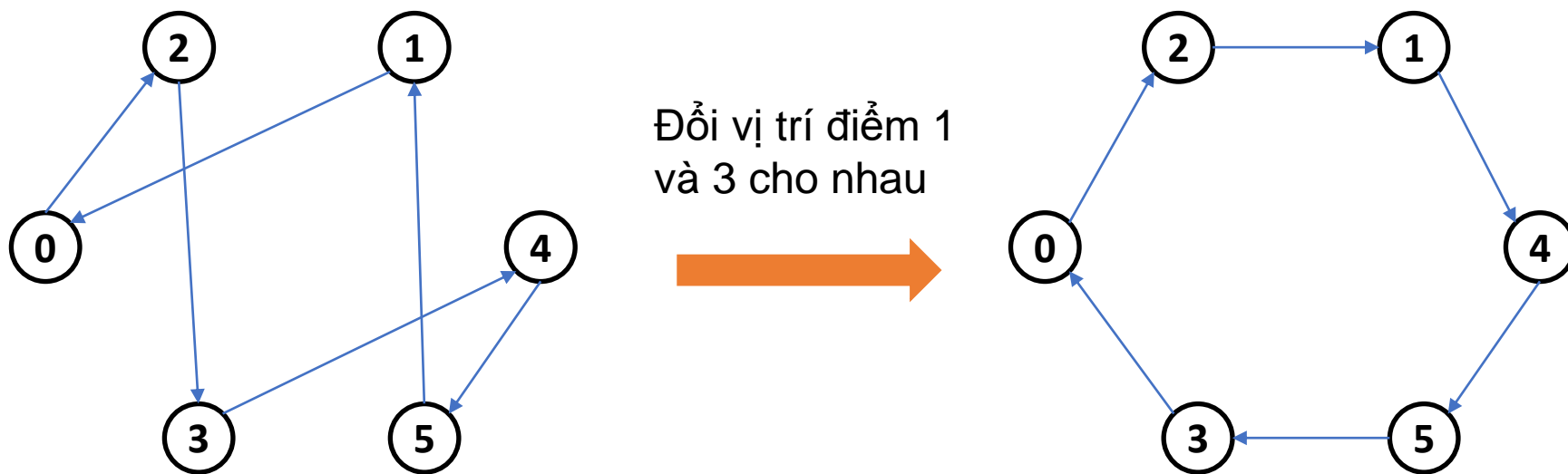
Tổng quan bài toán VRP

- Mô hình hóa và giải bài toán lộ trình vận tải bằng tìm kiếm cục bộ
- Phương án
 - *K* lộ trình, mỗi lộ trình bắt đầu và kết thúc tại 2 điểm và thăm một số điểm khách hàng
 - Mỗi điểm nằm trên nhiều nhất 1 lộ trình



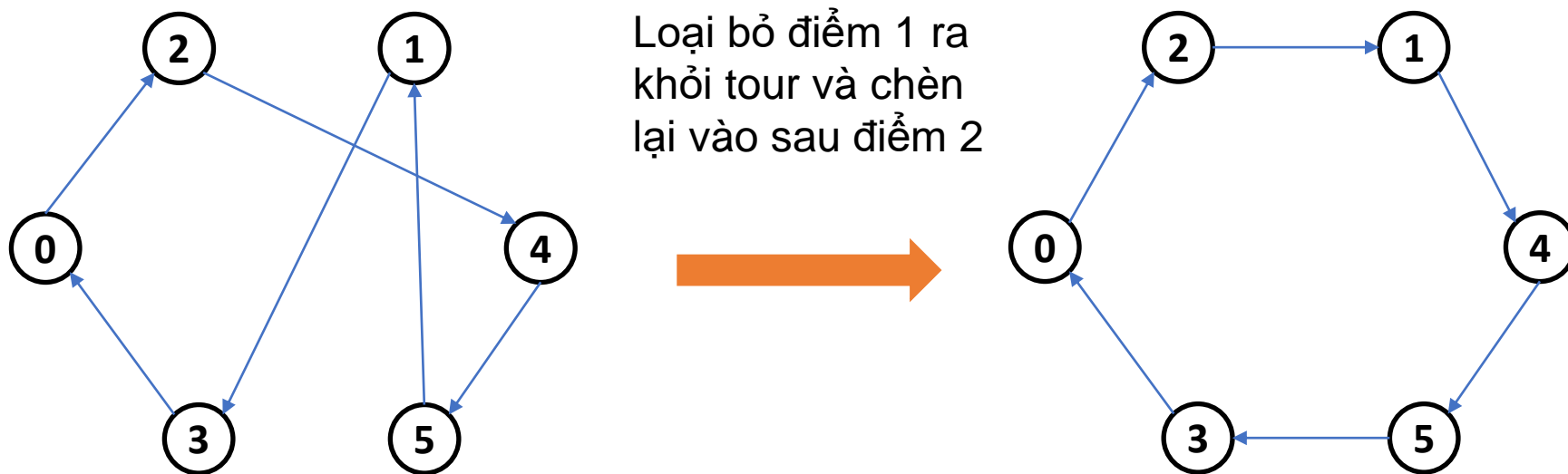
Toán tử láng giềng

- Toán tử láng giềng cho trường hợp 1 xe (TSP tour)



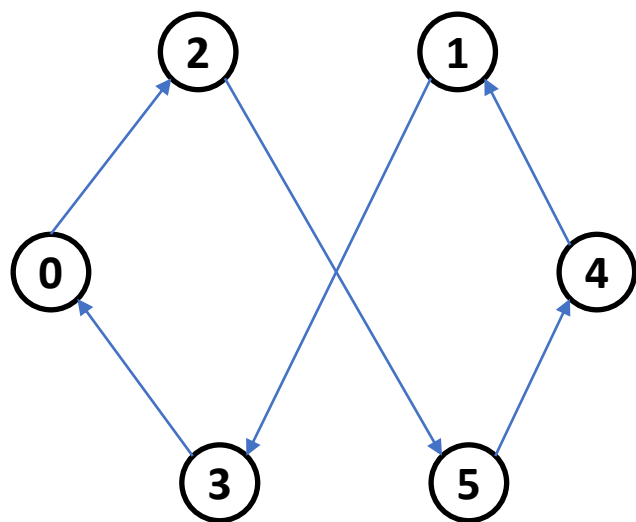
Toán tử láng giềng

- Toán tử láng giềng cho trường hợp 1 xe (TSP tour)

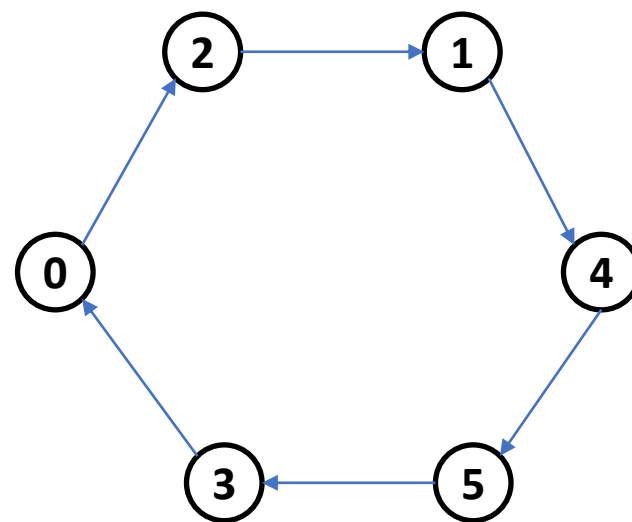


Toán tử láng giềng

- Toán tử láng giềng cho trường hợp 1 xe (TSP tour)

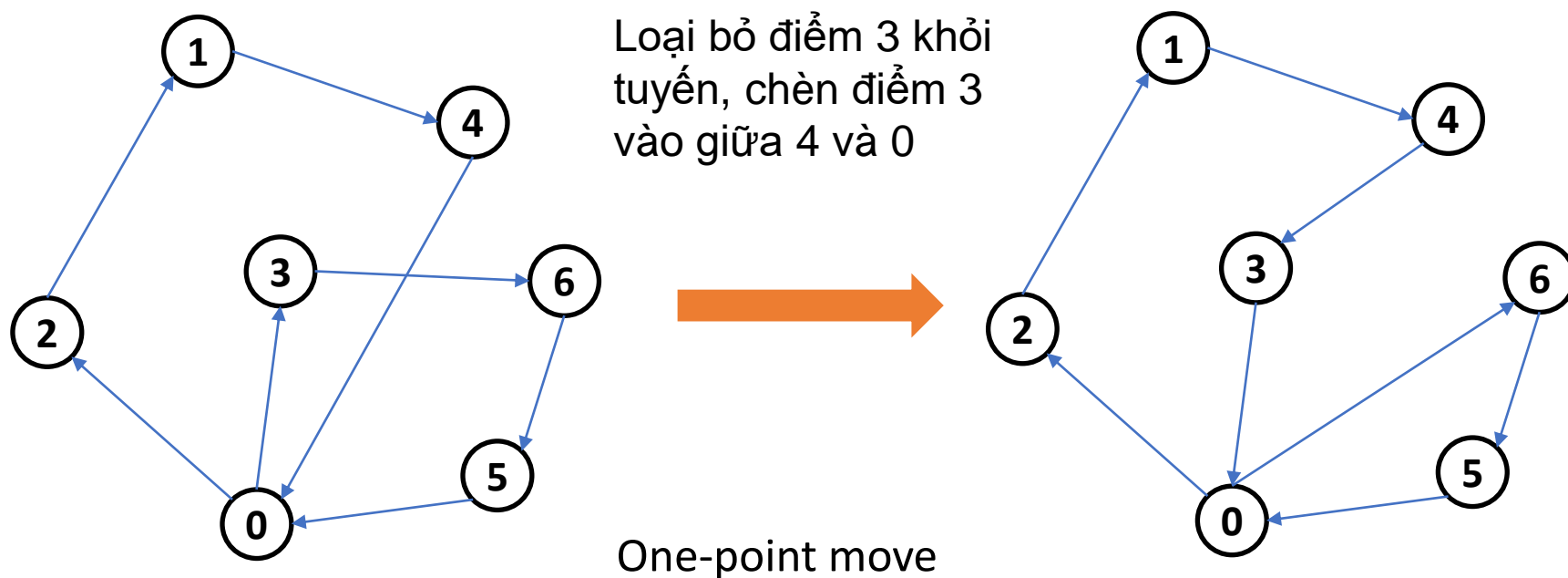


Loại bỏ cung (2,5) và (1,3). Thêm cung (2,1) và (5,3), đảo chiều đường đi từ 5 đến 1



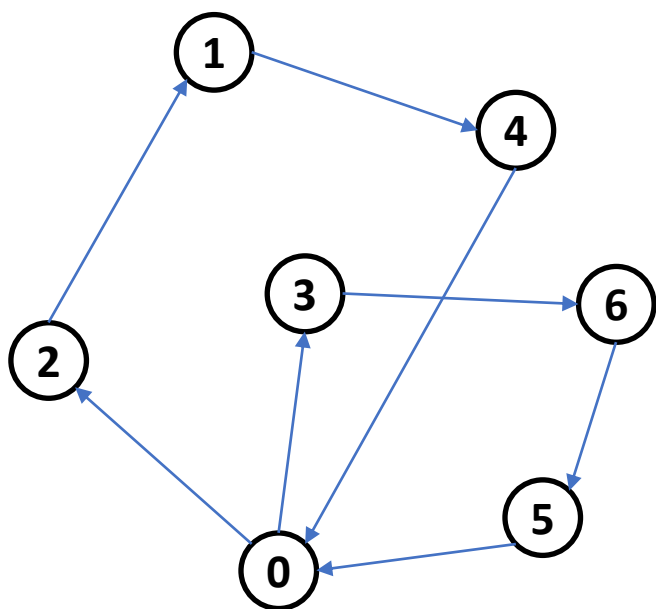
Toán tử láng giềng

- Toán tử láng giềng cho trường hợp nhiều xe

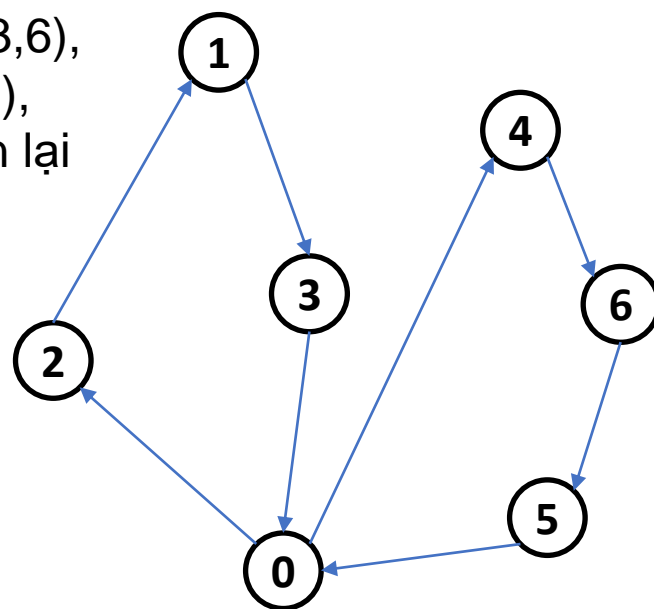


Toán tử láng giềng

- Toán tử láng giềng cho trường hợp nhiều xe



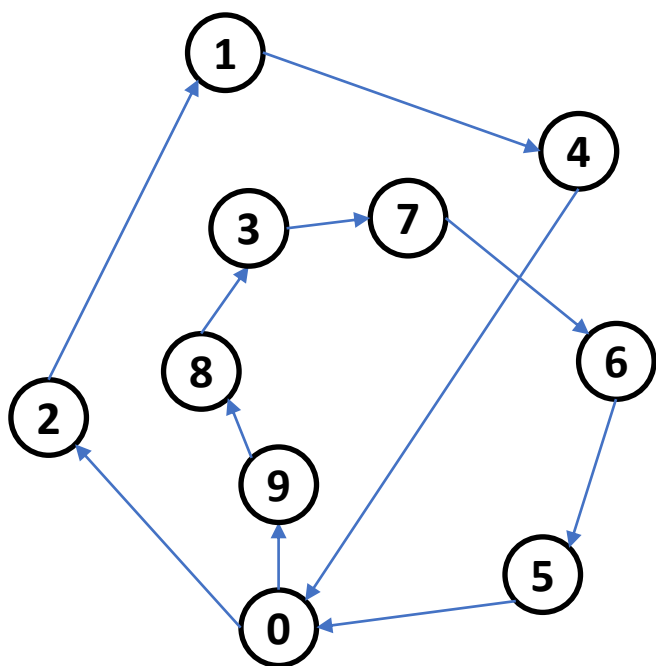
Loại bỏ cung (1,4) và (3,6),
thêm cung (1,3) và (4,6),
đảo chiều các cung còn lại
cho phù hợp



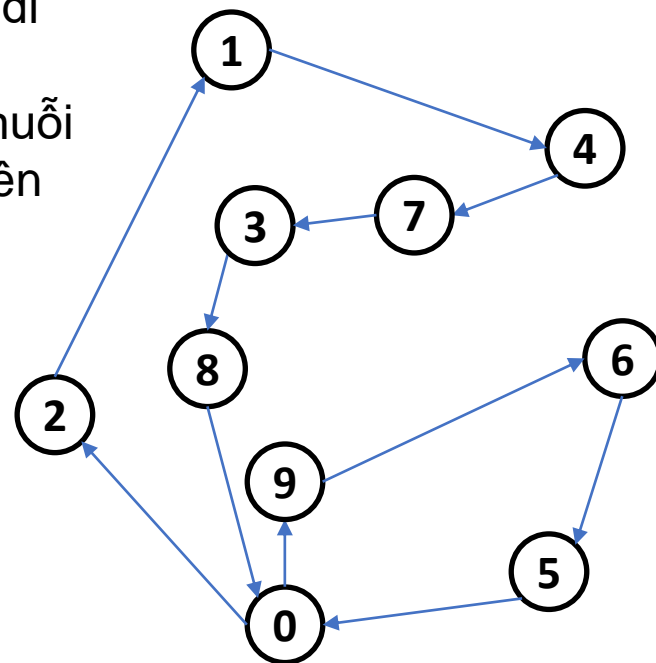
Two-opt move

Toán tử láng giềng

- Toán tử láng giềng cho trường hợp nhiều xe



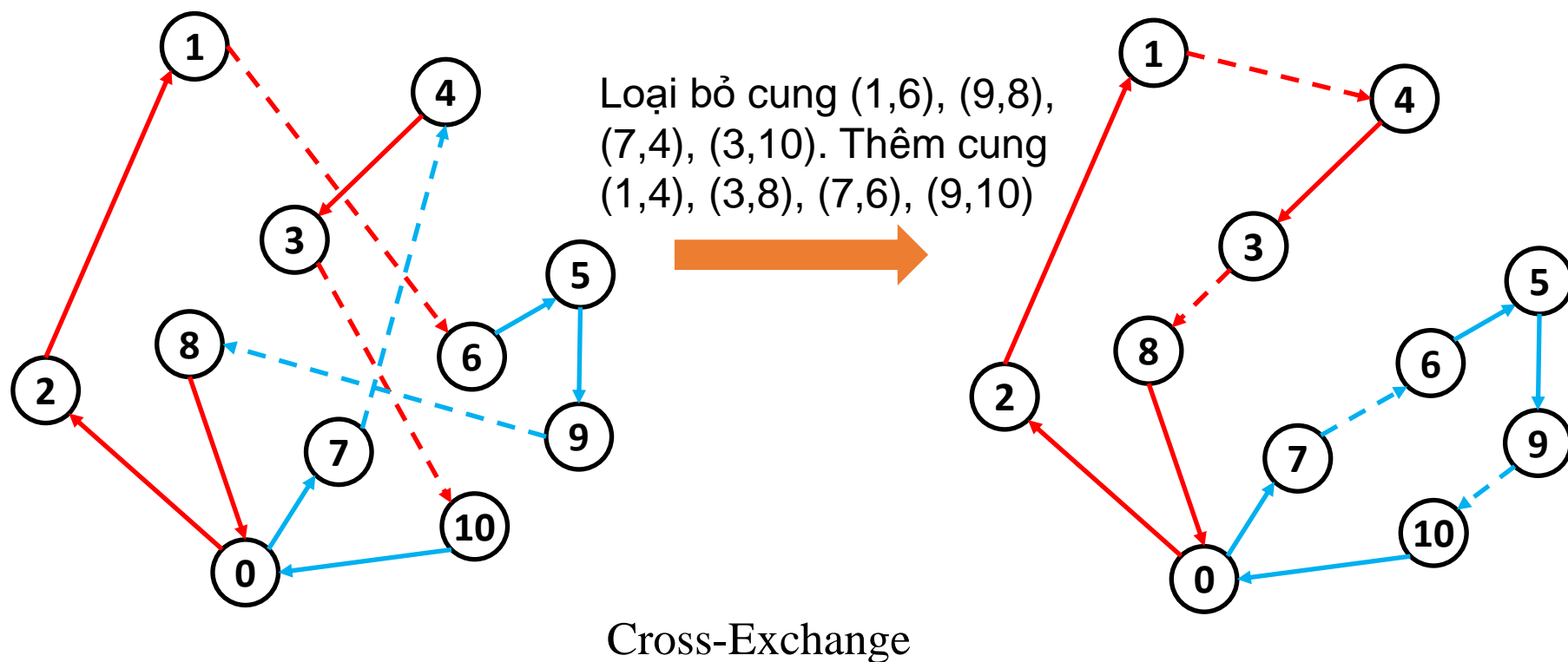
Loại bỏ chuỗi (đường đi con) điểm 8,3,7 khỏi đường đi 2 và chèn chuỗi này vào sau điểm 4 trên đường đi 1, đảo chiều cung cho phù hợp



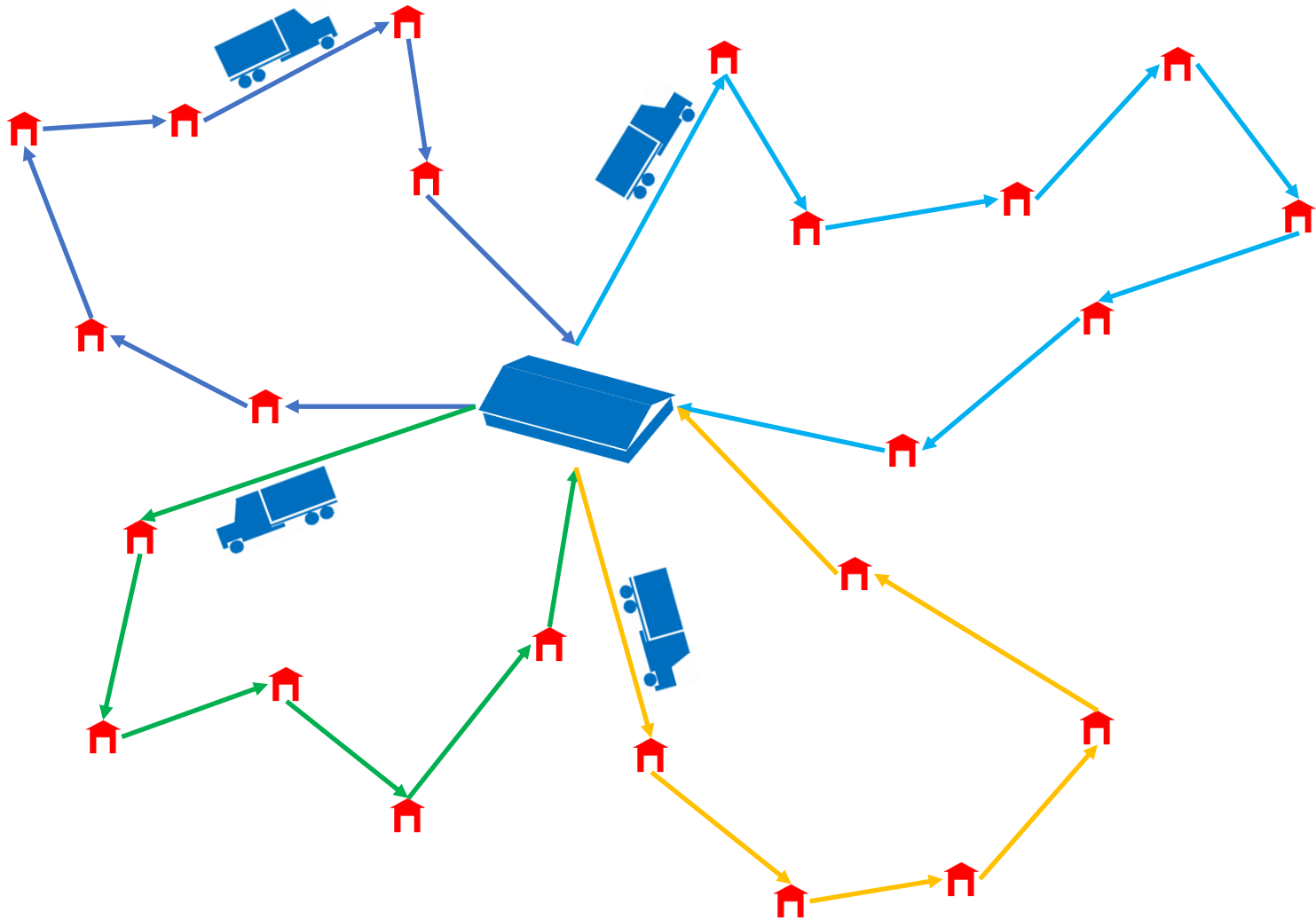
Or-opt move

Toán tử láng giềng

- Toán tử láng giềng cho trường hợp nhiều xe

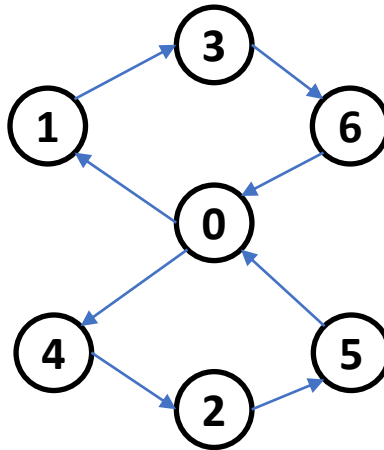


Giao hàng từ kho trung tâm



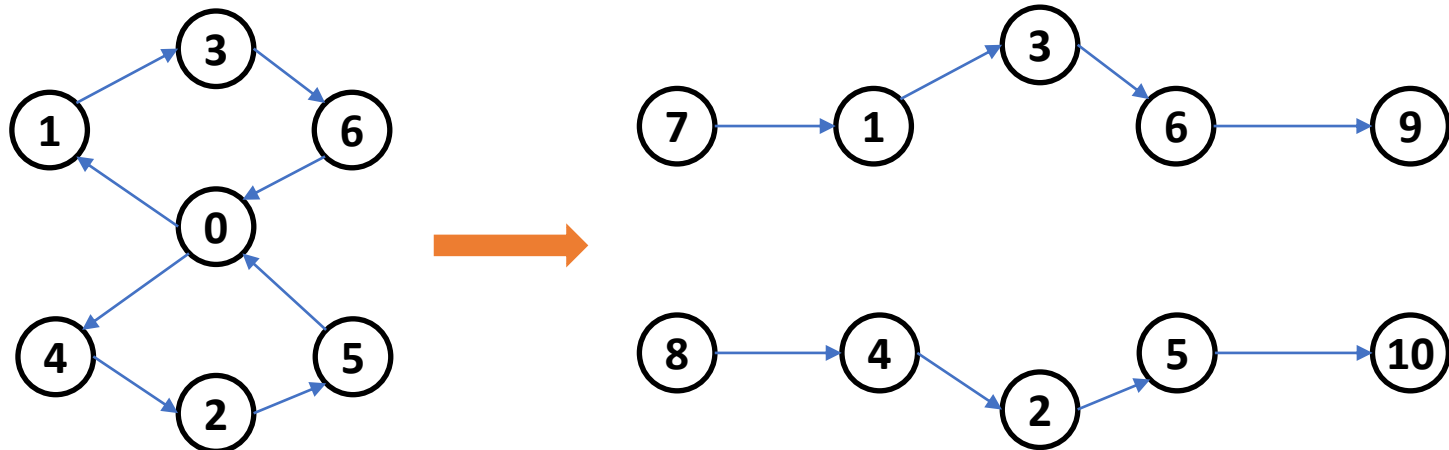
Giao hàng từ kho trung tâm

- Có N khách hàng $1, 2, \dots, N$. Khách hàng i ở điểm i và yêu cầu một lượng hàng $w(i)$, với $i = 1, \dots, N$. Có K xe $1, 2, \dots, K$ xuất phát từ kho (điểm 0). Xe k có tải trọng là $c(k)$, với $k = 1, 2, \dots, K$.
- $d(i, j)$ là khoảng cách từ điểm i đến điểm j , với $i, j = 0, 1, 2, \dots, N$
- Cần lập kế hoạch vận chuyển cho K xe thỏa mãn ràng buộc về tải trọng và tối ưu tổng quãng đường của K xe.



Giao hàng từ kho trung tâm

- Điểm logic $N+1, N+2, \dots, N+2K$ trong đó $N+i$ và $N+K+i$ tương ứng là điểm xuất phát của route thứ k (mọi $k = 1, 2, \dots, K$). Các điểm này tham chiếu đến điểm xuất phát (depot) vật lý
- Biến
 - $X[i]$: điểm tiếp theo của điểm i trên lộ trình, $i = 1, 2, \dots, N+K$
 - $IR[i]$: chỉ số (index) của route đi qua điểm i , $i = 1, 2, \dots, N+2K$
 - $L[i]$: khoảng cách tích lũy của route chứa i từ điểm xuất phát đến điểm i , $i = 1, \dots, N+2K$
 - $W[i]$: trọng lượng tích lũy của hàng hoá trên xe từ điểm xuất phát đến điểm i



Giao hàng từ kho trung tâm

- Ràng buộc
 - $L[s] = 0, s = N+1, \dots, N+K$
 - $W[s] = 0, s = N+1, \dots, N+K$
 - $IR[N+i] = IR[N+K+i], i = 1, \dots, K$
 - $X[i] \neq X[j], \text{ mọi } i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, N+K$
 - $X[i] \neq i, \text{ với mọi } i = 1, 2, \dots, N+K$
 - $X[i] = j \Rightarrow IR[i] = IR[j], \text{ với mọi } i = 1, \dots, N+K, j = 1, \dots, N+2K$
 - $X[i] = j \Rightarrow L[j] = L[i] + d(i, j), \text{ với mọi } i = 1, \dots, N+K, j = 1, \dots, N+2K$
 - $X[i] = j \Rightarrow W[j] = W[i] + w_j, \text{ với mọi } i = 1, \dots, N+K, j = 1, \dots, N+2K$
 - $W[k+N+K] \leq c(k), k = N+K+1, \dots, N+2K$
- Hàm mục tiêu: $f = L[N+K+1] + \dots + L[N+2K] \rightarrow \min$

Thư viện CBLSVR

- Cung cấp API mô hình hóa
 - Lời giải
 - Hàm, ràng buộc
- API cung cấp phương tiện để truy vấn các thuộc tính của bài toán, chất lượng các phương án lảng giềng
- Người phát triển ứng dụng không cần thao tác, duy trì các cấu trúc dữ liệu phức tạp
 - Tập trung vào mô hình hóa
 - Phát triển các thuật toán tìm kiếm cục bộ hiệu quả
- Người phát triển ứng dụng có thể mở rộng
 - Thiết kế và cài đặt các hàm, ràng buộc để mô hình hóa các yếu tố mới của lớp bài toán VRP và tích hợp vào thư viện framework

Thư viện CBLSVR

- Mô hình hóa biến lộ trình

DS điểm bắt đầu của các lộ trình

```
ArrayList<Point> startPoints;
```

```
ArrayList<Point> endPoints;
```

```
ArrayList<Point> clientPoints;
```

```
VRManager mgr = new VRManager();
```

DS điểm kết thúc của các lộ trình

DS điểm cần đi qua của các lộ trình

Đối tượng quản lý

```
VarRoutesVR XR = new VarRoutesVR(mgr);
```

Biến (nhiều) lộ trình

```
for(int i = 0; i < startPoints.size(); i++){
```

```
    Point s = startPoints.get(i);
```

```
    Point t = endPoints.get(i);
```

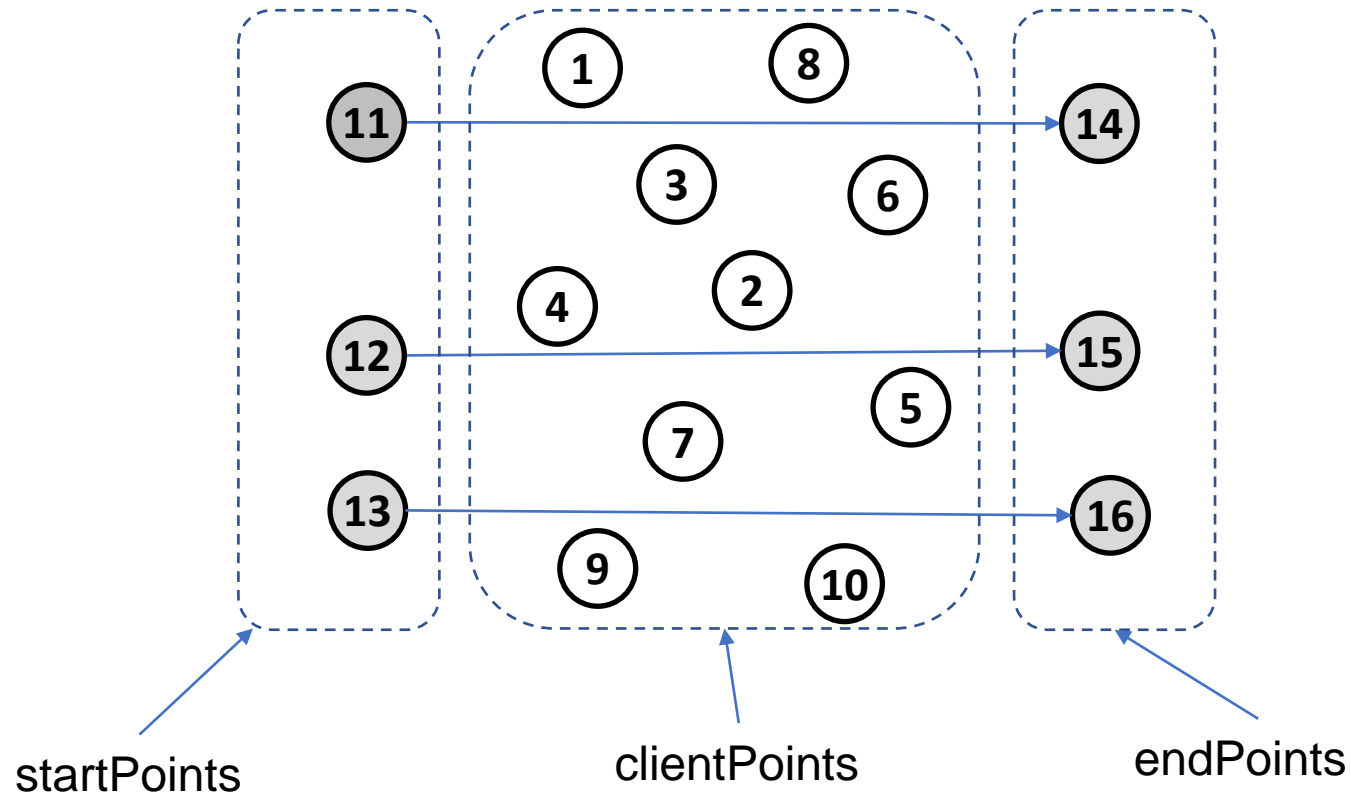
```
    XR.addRoute(s, t);
```

```
}
```

```
for(Point p: clientPoints) XR.addClientPoint(p);
```

Thư viện CBLSVR

- Mô hình hóa biến lộ trình



Thư viện CBLSVR

- VarRoutesVR: biến lộ trình

Truy vấn	Mô tả
startPoint(int k)	Điểm xuất phát của lộ trình thứ k (1,2,...)
endpoint(int k)	Điểm kết thúc của lộ trình thứ k (1,2,...)
next(Point x)	Điểm tiếp theo của điểm x trên lộ trình
prev(Point x)	Điểm trước điểm x trên lộ trình

Thư viện CBLSVR

- VarRoutesVR: biến lộ trình

Toán tử di chuyển cục bộ	Mô tả
performOnePointMove(Point x, Point y)	move of type a [Groer et al., 2010] move customer x to from route of x to route of y; insert x into the position between y and next[y] x and y are not depot remove (prev[x],x), (x, next[x]), (y,next[y]) insert (prev[x], next[x]), (y,x), (x, next[y])
performTwoPointsMove(Point x, Point y)	move of type b [Groer et al., 2010] x and y are on the same route and are not the depot, y locates before x on the route remove (prev[x],x) and (x,next[x]) and (prev[y], y) and (y, next[y]) insert (x,prev[y]) and (next[y],x) and (next[x],y) and (y, prev[x])

Thư viện CBLSVR

- VarRoutesVR: biến lộ trình

Toán tử di chuyển cục bộ	Mô tả
performCrossExchangeMove(Point x1, Point y1, Point x2, Point y2)	<p>move of type g [Groer et al., 2010]</p> <p>x1 and y1 are on the same route, x1 is before y1</p> <p>x2 and y2 are on the same route, x2 is before y2</p> <p>remove (x1,next[x1]) and (y1, next[y1])</p> <p>remove (x2, next[x2]) and (y2, next[y2])</p> <p>insert (x1, next[x2]) and (y2, next[y1])</p> <p>insert (x2, next[x1]) and (y1, next[y2])</p>
performTwoOptMove1(Point x, Point y)	<p>move of type c [Groer et al., 2010]</p> <p>x and y are on different routes and are not the depots</p> <p>remove (x,next[x]) and (y,next[y])</p> <p>insert (x,y) and (next[x],next[y])</p>
. . .	

Thư viện CBLSVR

- IFunctionVR, IConstraintVR: interface mà các hàm, ràng buộc thi hành

Truy vấn	Mô tả
evaluateOnePointMove(Point x, Point y)	move of type a [Groer et al., 2010] move customer x to from route of x to route of y; insert x into the position between y and next[y] x and y are not depot remove (prev[x],x), (x, next[x]), (y,next[y]) insert (prev[x], next[x]), (y,x), (x, next[y])
evaluateTwoPointsMove(Point x, Point y)	move of type b [Groer et al., 2010] x and y are on the same route and are not the depot, y locates before x on the route remove (prev[x],x) and (x,next[x]) and (prev[y], y) and (y, next[y]) insert (x,prev[y]) and (next[y],x) and (next[x],y) and (y, prev[x])

Thư viện CBLSVR

- IFunctionVR, IConstraintVR: interface mà các hàm, ràng buộc thi hành

Truy vấn	Mô tả
evaluateCrossExchangeMove(Point x1, Point y1, Point x2, Point y2)	<p>move of type g [Groer et al., 2010] x1 and y1 are on the same route, x1 is before y1 x2 and y2 are on the same route, x2 is before y2 remove (x1,next[x1]) and (y1, next[y1]) remove (x2, next[x2]) and (y2, next[y2]) insert (x1, next[x2]) and (y2, next[y1]) insert (x2, next[x1]) and (y1, next[y2])</p>
evaluateTwoOptMove1(Point x, Point y)	<p>move of type c [Groer et al., 2010] x and y are on different routes and are not the depots remove (x,next[x]) and (y,next[y]) insert (x,y) and (next[x],next[y])</p>
. . .	

Thư viện CBLSVR

- Invariants: Duy trì các thuộc tính của bài toán, tự động cập nhật theo sự thay đổi của lộ trình trong quá trình tìm kiếm cục bộ

Bất biến	Mô tả
AccumulatedWeightNodesVR	Trọng số tích lũy trên các điểm. Hàm getSumWeights(Point x) trả về tổng trọng số trên các điểm trên lộ trình từ điểm xuất phát của lộ trình chứa x cho đến x
AccumulatedWeightEdgesVR	Trọng số tích lũy trên cạnh. Hàm getCostRight(Point x) trả về khoảng cách trên lộ trình từ điểm xuất phát của lộ trình chứa x đến điểm x
. . .	

Giao hàng từ kho trung tâm

```
public class CVRP {  
    int K = 2; // number of routes  
    int N = 6; // number of clients  
    int capacity = 11;  
    int[] demand = {0,4,2,5,2,3,5};  
    int[][] c = {  
        {0,3,2,1,4,3,7},  
        {2,0,2,3,5,3,9},  
        {1,3,0,2,4,2,4},  
        {5,3,2,0,1,1,7},  
        {3,1,5,1,0,3,6},  
        {6,3,2,4,4,0,9},  
        {2,3,2,1,2,8,0}  
    };  
};
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
ArrayList<Point> start;  
ArrayList<Point> end;  
ArrayList<Point> clientPoints;  
ArrayList<Point> allPoints;  
ArcWeightsManager awm;// lưu trữ trọng số trên cạnh nối giữa các point  
NodeWeightsManager nwm;// lưu trữ trọng số trên các point  
HashMap<Point, Integer> mapPoint2ID;  
  
// modelling  
VRManager mgr;  
VarRoutesVR XR;// biến lời giải (lưu tập các route)  
ConstraintSystemVR CS;  
LexMultiFunctions F;  
IFunctionVR obj;  
IFunctionVR[] d;// d[k] là demand của route k  
IFunctionVR[] cost;// cost[k] là chi phí của route thu k  
Random R = new Random();
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
public void mapping(){
    start = new ArrayList<Point>();
    end = new ArrayList<Point>();
    clientPoints = new ArrayList<Point>();
    allPoints = new ArrayList<Point>();
    mapPoint2ID = new HashMap<Point, Integer>();
    // khoi tao cac diem bat dau va ket thuc cua cac xe (route)
    for(int k = 1; k <= K; k++){
        Point s = new Point(0);
        Point t = new Point(0);
        start.add(s);    end.add(t);
        allPoints.add(s); allPoints.add(t);
        mapPoint2ID.put(s, 0);
        mapPoint2ID.put(t,0);
    }
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
for(int i = 1; i <= N; i++){
    Point p = new Point(i);
    clientPoints.add(p);    allPoints.add(p);    mapPoint2ID.put(p, i);
}
awm = new ArcWeightsManager(allPoints);
nwm = new NodeWeightsManager(allPoints);
for(Point p: allPoints){
    for(Point q: allPoints){
        int ip = mapPoint2ID.get(p); int iq = mapPoint2ID.get(q);
        awm.setWeight(p,q, c[ip][iq]);
    }
}
for(Point p: allPoints)
    nwm.setWeight(p, demand[mapPoint2ID.get(p)]);
}
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
public void stateModel(){
    mgr = new VRManager();
    XR = new VarRoutesVR(mgr);
    for(int i = 0; i < start.size(); i++){
        Point s = start.get(i);
        Point t = end.get(i);
        XR.addRoute(s, t); // them 1 route vao phuong an (s --> t)
    }
    for(Point p: clientPoints)
        XR.addClientPoint(p); // khai bao XR co the se di qua diem p
    // thiet lap rang buoc
    CS = new ConstraintSystemVR(mgr);
    AccumulatedWeightNodesVR accDemand = new AccumulatedWeightNodesVR(XR, nwm);
    AccumulatedWeightEdgesVR accW = new AccumulatedWeightEdgesVR(XR, awm);
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
d = new IFunctionVR[K]; // demand on routes
for(int k = 1; k <= K; k++){
    Point tk = XR.endPoint(k); // diem cuoi cung cua route thu k
    d[k-1] = new AccumulatedNodeWeightsOnPathVR(accDemand, tk);
    CS.post(new Leq(d[k-1], capacity));
}
cost = new IFunctionVR[K];
for(int k = 1; k <= K; k++){
    Point tk = XR.endPoint(k);
    cost[k-1] = new AccumulatedEdgeWeightsOnPathVR(accW, tk);
}
obj = new TotalCostVR(XR, awm); // tong khoang cach di chuyen cua K xe (route)
mgr.close();
}
```


Giao hàng từ kho trung tâm

```
public void initialSolution(){
    ArrayList<Point> listPoints = new ArrayList<Point>();
    for(int k = 1; k <= XR.getNbRoutes(); k++){
        listPoints.add(XR.startPoint(k));
    }
    for(Point p: clientPoints){
        Point x = listPoints.get(R.nextInt(listPoints.size()));
        mgr.performAddOnePoint(p, x);
        System.out.println(XR.toString() + "violations = " + CS.violations()
            + ", cost = " + obj.getValue());
        listPoints.add(p);
    }
}
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
public void exploreNeighborhood(ArrayList<Move> cand){
    cand.clear(); int minDeltaC = Integer.MAX_VALUE; double minDeltaF = minDeltaC;
    for(int k = 1; k <= XR.getNbRoutes(); k++){
        for(Point y = XR.startPoint(k); y != XR.endPoint(k); y = XR.next(y)){
            for(Point x: clientPoints)if(x != y && x != XR.next(y)){
                int deltaC = CS.evaluateOnePointMove(x, y);
                double deltaF = obj.evaluateOnePointMove(x, y);
                if(!(deltaC < 0 || deltaC == 0 && deltaF < 0)) continue;
                if(deltaC < minDeltaC || deltaC == minDeltaC && deltaF < minDeltaF){
                    cand.clear(); cand.add(new Move(x,y));
                    minDeltaC = deltaC; minDeltaF = deltaF;
                }else if(deltaC == minDeltaC && deltaF == minDeltaF) cand.add(new Move(x,y));
            }
        }
    }
}
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
public void search(int maxIter){
    initialSolution();
    int it = 0;
    ArrayList<Move> cand = new ArrayList<Move>();
    while(it < maxIter){
        exploreNeighborhood(cand);
        if(cand.size() <= 0)
            System.out.println("Reach local optimum"); break;
        Move m = cand.get(R.nextInt(cand.size()));
        mgr.performOnePointMove(m.x, m.y);
        System.out.println("Step " + it + ", XR = " + XR.toString() + "violations = "
            + CS.violations() + ", cost = " + obj.getValue());
        it++;
    }
}
```

Giao hàng từ kho trung tâm

```
class Move{
    Point x;
    Point y;
    public Move(Point x, Point y){
        this.x = x; this.y = y;
    }
}

public static void main(String[] args) {
    CVRP A = new CVRP();
    A.mapping();
    A.stateModel();
    A.search(100);
}
```



25 YEARS ANNIVERSARY
SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY



soict.hust.edu.vn/



fb.com/groups/soict

