



Umlaufplanung von Elektrobussen

(1) Problem

Alle Fahrten des Fahrplans, die ein Bus im ÖPNV nacheinander abwickeln soll, werden zu einem Umlauf zusammengefasst. Die Umlaufplanung beschäftigt sich mit der Berechnung aller Umläufe für eine bestimmte Tagesart.

- Batterieelektrische Bussen bewältigen die geforderte tägliche Fahrleistung von ca. 250 km ihres Umlaufs nicht ohne ein zwischenzeitliches Nachladen der Batterie.
- Es gibt so viele verschiedene Möglichkeiten, Umläufe zu bilden, dass es mit heutigen Computern nicht möglich ist, in endlicher Zeit alle Varianten durchzuprobieren. Zur Berechnung der besten (bzw. einer sehr guten) Variante (mit minimaler Anzahl an Fahrzeugen und minimaler Ausbleibzeit) existieren etliche Verfahren.
- Das Problem verschärft sich durch das erforderliche Zwischenladen erheblich.

Ziel dieses Teilprojektes:

Ermittlung von Umläufen einschließlich der Ladeort und Ladezeiten mit der minimalen Anzahl an Fahrzeugen und minimaler Ausbleibzeit

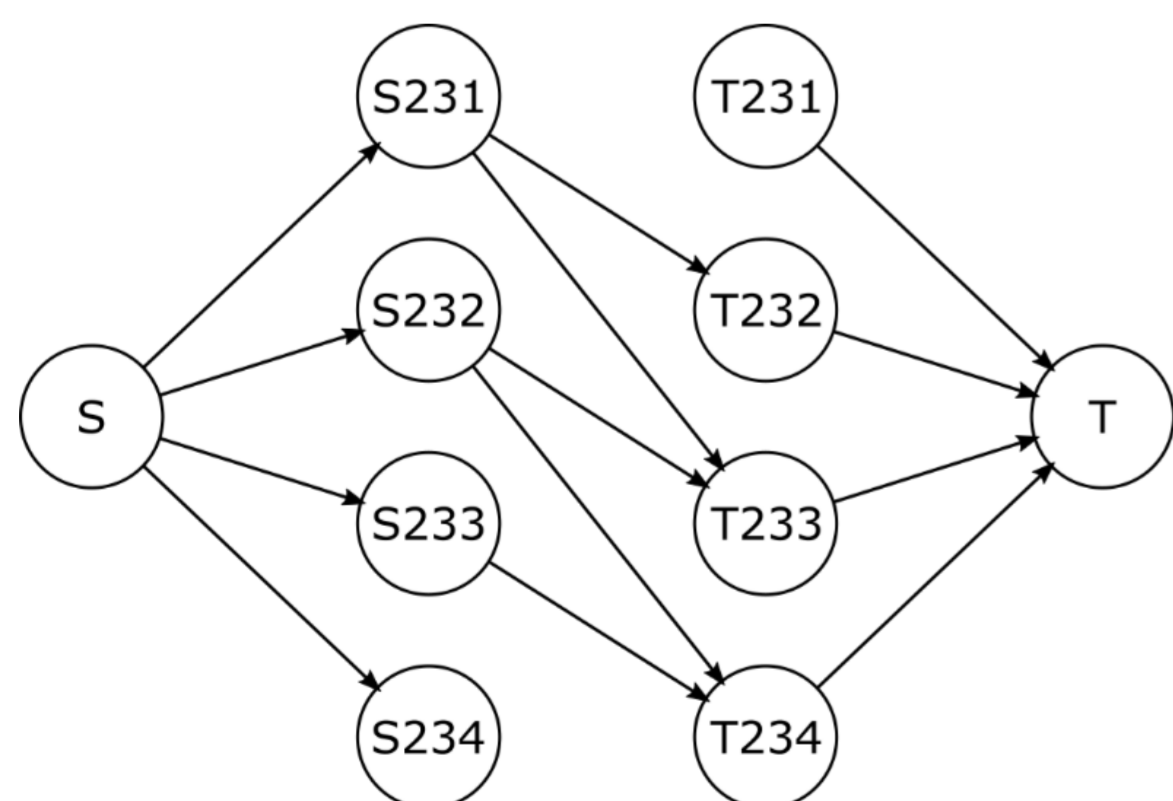
(2) Fragestellungen

Gegeben sind:

- Fahrplan (Menge von Fahrten)
- Ladepunkte mit Ladeleistung
- Batteriekapazität
- Energiebedarf der Fahrten (beeinflusst von der Entfernung, dem Fahrgastbesetzungsgrad und dem Wetter über die Heizung bzw. die Klimatisierung)

Es sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

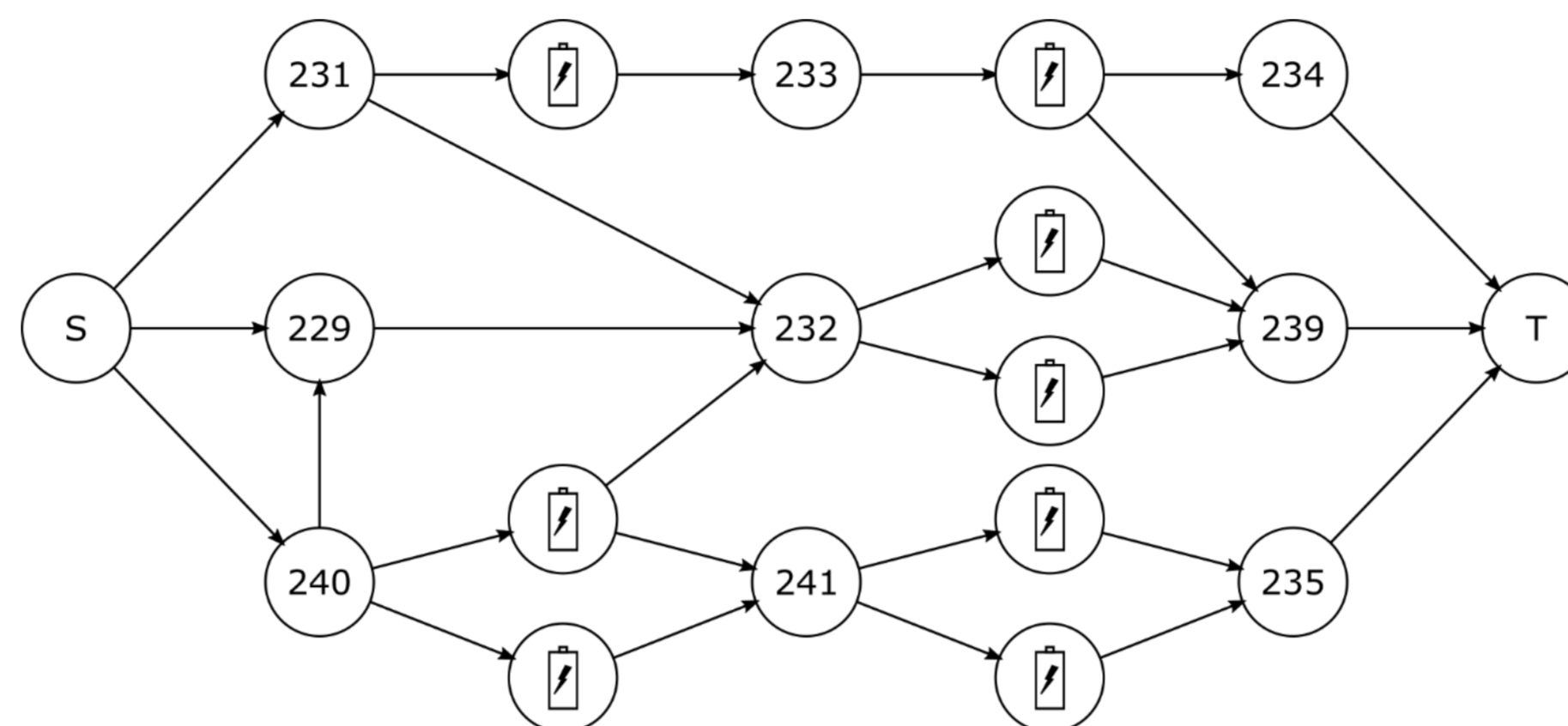
- Welche Fahrten können zu Umläufen zusammengefasst werden, so dass die Gesamtanzahl der Busse und die Gesamtausbleibzeit minimal sind?
- Wo, wann und wie lange müssen die Batterien der Busse während der Umläufe nachgeladen werden?



Die minimale Anzahl der erforderlichen Busse kann mit der Methode des maximalen Flusses ermittelt werden

(3) Methoden

Es wird ein Graph vom Startdepot (S) über die Fahrten (nummeriert) und Ladepunkte zum Zieldepot (T) gebildet. Jeder Pfad vom Startdepot zum Zieldepot stellt einen gültigen, d. h. durchführbaren, Umlauf dar.



Ladepunkte müssen dabei mehrfach durch Knoten im Graph repräsentiert werden. Die folgenden Verfahren können auf den Graphen angewendet werden:

- Column Generation mit anschließender linearer Optimierung (die Zeilen repräsentieren die Fahrten und die Spalten repräsentieren die Umläufe)
- Wiederholte zufällige Generierung von Umläufen und sukzessive Verbesserung der Gesamtlösung

(4) Implementierung

Lineare Optimierung auf die per Column Generation gefundenen Umläufe:

```

Fahrt 231 [1, 0, 0, 0, 0, 0, 1]
Fahrt 240 [0, 1, 0, 0, 0, 1, 0]
Fahrt 229 [0, 0, 1, 0, 0, 1, 0]
Fahrt 232 [0, 0, 0, 1, 0, 1, 0]
Fahrt 239 [0, 0, 0, 0, 1, 1, 1]

```

Zufällige Generierung von Umläufen:

```

Zähler = 0
REPEAT
  Generiere zufälligen Umlauf
  FOR EACH Fahrt des Umlaufs DO
    IF Fahrt ist in einem bestehenden
    Umlauf enthalten THEN
      Entferne Fahrt aus bestehendem Umlauf
      Teile den bestehenden Umlauf
      Verbinde alle Umläufe
    END IF
  IF Neue Lösung besser als die bisher
  beste THEN
    Betrachte gefundene Lösung als neue
    beste
    Zähler = 0
  ELSE Zähler + 1
  END IF
END FOR
UNTIL Zähler > Schwelle

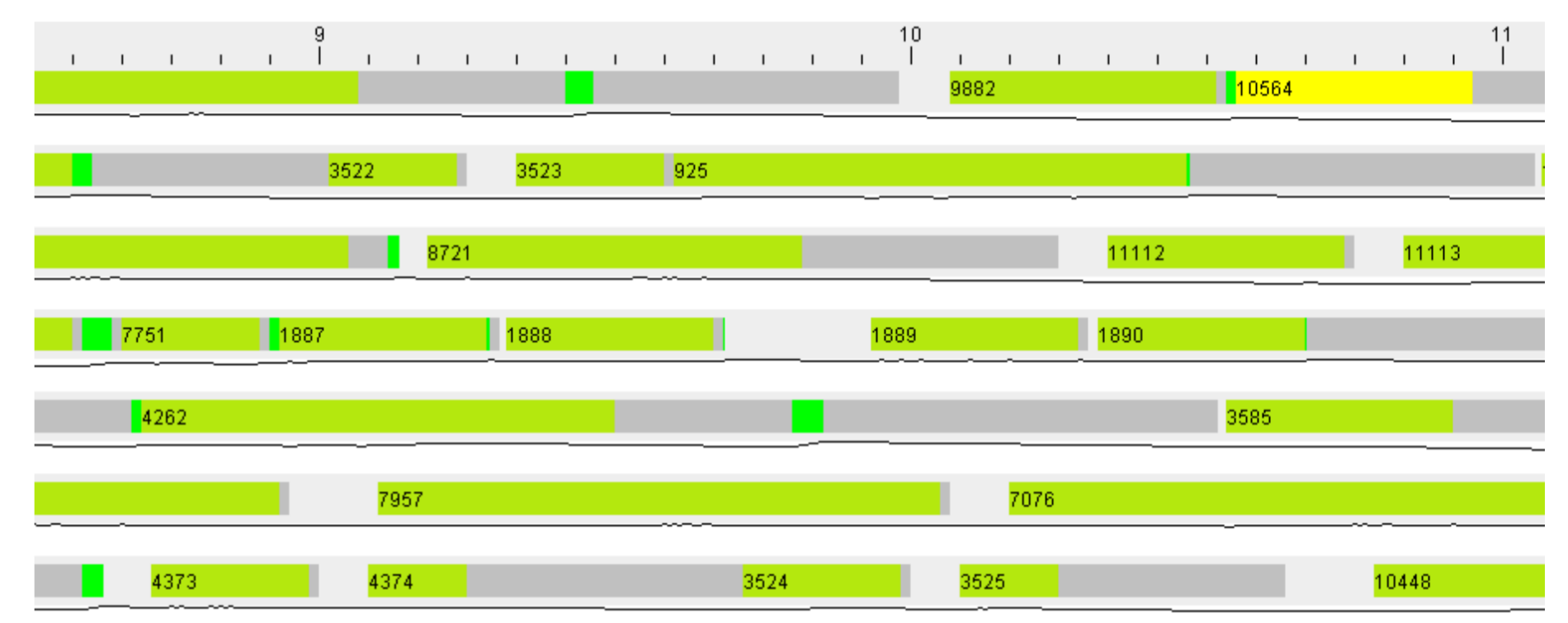
```

(5) Ergebnisse

Das Column-Generation-Verfahren ermittelt das Ergebnis in wenigen Minuten. Sind die ersten berechneten Umläufe noch sehr gut, fallen die später berechneten Umläufe in ihrer Qualität deutlich ab. Die Gesamtqualität des Ergebnisses hängt stark von der Struktur des Fahrplans ab.

Das zufallsbasierte Verfahren berechnet ein gutes Ergebnis bereits in wenigen Minuten und verbessert dieses Ergebnis sukzessive. Das Verfahren kann dabei jederzeit abgebrochen werden.

Das folgende Bild zeigt den Ausschnitt eines Umlaufplans mit Ladevorgängen und dem sich entsprechend verändernden Batterieladezustand:



Ausschnitt eines Umlaufplans mit Ladevorgängen und Verlauf des Batterieladezustands

(6) Ergebnisse und Ausblick

Beide Verfahren berücksichtigen nur die maximal mögliche nachzuladende Energiemenge anhand der Haltezeit an den Ladepunkten und der jeweiligen Ladeleistung. Eine optimale Verteilung der Ladevorgänge in den vorgegebenen Grenzen erfolgt in einem anschließenden separaten Schritt.

Die Ergebnisdaten werden im erweiterten VDV452-Format exportiert und darüber u. a. von MOBILE-PLAN zur Weiterverwendung im ITCS eingelesen.

Ausblick:

- Die Laufzeit des zufallsbasierten Verfahrens kann durch Parallelisierung stark verkürzt werden.
- Der Batteriewechsel und das Laden während der Fahrt können durch entsprechende Anpassung des Graphen ebenfalls berücksichtigt werden.
- Neben der Anzahl der Fahrzeuge und der Ausbleibzeit können sehr einfach zusätzliche Parameter für die Gütebeurteilung einer gefundenen Lösung ergänzt werden (z. B. im Zuge der integrierten Umlauf- und Dienstplanung).

Publikationen

Beabsichtigte Publikation der erzielten Ergebnisse in Fachzeitschriften:



Partner



Projektdate

Gefördert durch:



Projektbeginn: 01.01.2016
Projektende: 30.06.2019
Durchgeführt vom Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak), Magdeburg

